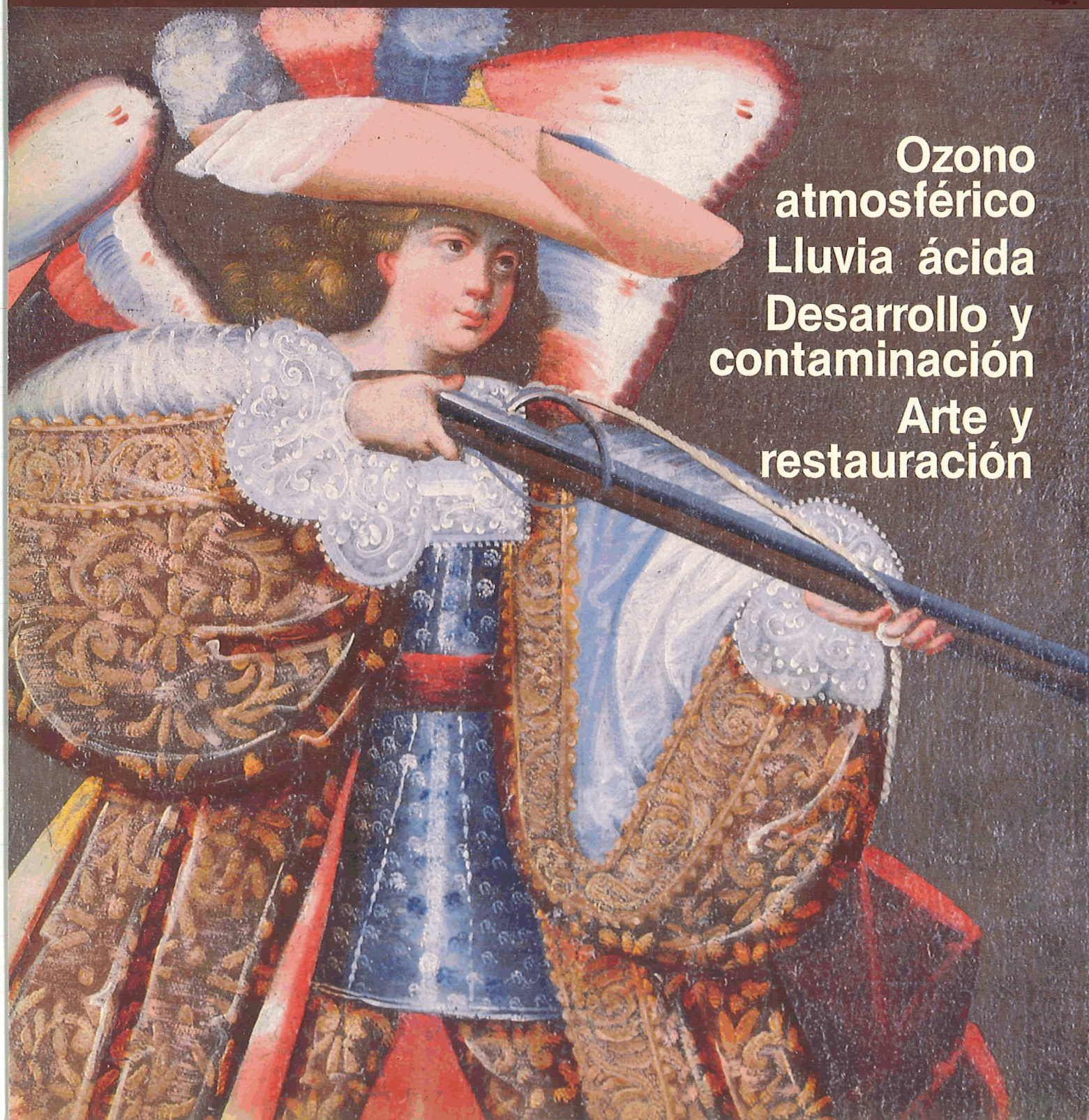
METALES Y VIDA

CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy

Vol. 2 N° 9 - setiembre/octubre 1990



Ozono atmosférico

Lluvia ácida

Desarrollo y contaminación

Arte y restauración

SIEMENS

Atucha II
La construcción avanza

A comienzos de 1990 arribaron procedentes de Alemania otros importantísimos componentes y sistemas destinados a la Central Nuclear Atucha II, entre los cuales se incluyen el generador y el rotor de la turbina.
Se marcó así un nuevo hito en la continuidad de esta obra, tan necesaria para la infraestructura energética del país.
La tecnología para Atucha II es provista por el grupo KWU de Siemens AG a través de ENACE S.A., el joint venture creado con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de la República Argentina.
Siemens AG/KWU de Alemania Federal se cuenta entre las empresas más importantes del mundo en tecnología para la generación de energía.
La gama de nuestra tecnología incluye todos los tipos de reactores, desde aquellos con recipiente de presión de agua liviana (PWR) o agua pesada (PHWR), hasta los con agua en ebullición (BWR), además de los conceptos más novedosos, como por ejemplo los de alta temperatura (HTR) o los reproductores rápidos (SNR).
Acuerdos de cooperación internacional con Framatome S.A. de Francia y ABB-Asea Brown Boveri AG de Suiza, proyectan a Siemens AG/KWU como empresa de gran experiencia en tecnología y servicios nucleares, más allá de sus mercados tradicionales, en el marco del fortalecimiento de la industria nuclear europea.

Siemens AG - Grupo KWU

KWU

Si desea mayor información, escríbanos a: KWU SERVICIOS S.A. - Av. Julio A. Roca 620 - Piso 13 - 1067 Buenos Aires.

DISCREPANCIAS

Deseamos referirnos a los siguientes artículos aparecidos en *Ciencia Hoy*, vol. 1, nº 5: "Mujeres del Tercer Mundo en ciencia y tecnología" de Antoniana Ursine Krettli y "Mujeres en ciencias biomédicas" de Christiane Dosne Pasqualini. Felicitamos a dichas autoras por ocuparse del tema de la mujer en ciencia y tecnología, pues reconocer que existe la problemática ya es un avance, pero no coincidimos con sus apreciaciones.

Estamos en desacuerdo con el resultado de *no crear una asociación internacional para analizar los problemas de mujeres en ciencia y técnica* obtenido en la Primera Conferencia Internacional sobre "El papel de la mujer en el desarrollo de la ciencia y la técnica" realizada en Trieste, Italia. Lamentamos que el grupo Latinoamericano y del Caribe haya sido opositor a esa propuesta, pues demuestra falta de conocimiento de la realidad y, lo que es aún peor, falta de solidaridad hacia otras colegas. Esto nos hace sentir muy mal representadas.

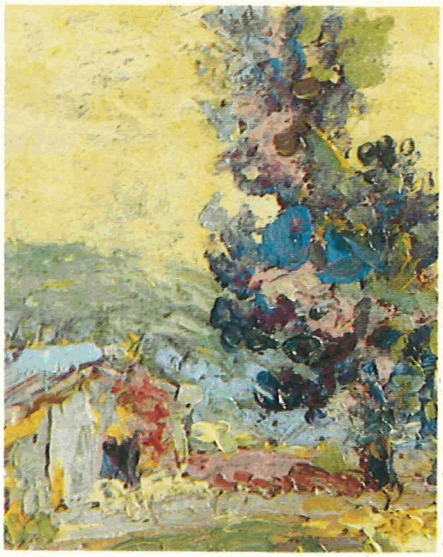
La argumentación dada por dichas autoras en contra de la formación de una asociación internacional para discutir y tratar de resolver los problemas de la mujer en ciencia y técnica es que "sería una iniciativa segregacionista y discriminatoria". Sin embargo, la creación de cualquier asociación que tenga por fines hacer converger en un foro común los problemas particulares de un subgrupo social no ha sido nunca calificada de tal manera. Tal es el caso de muchas asociaciones.

Pensamos que se debería continuar el análisis de los problemas propios de la mujer en ciencia y técnica en todas las áreas con una efectiva participación de las interesadas; por ejemplo, en el marco de un trabajo de investigación y/o en el de alguna institución. A partir de ese tipo de trabajo proponemos realizar un planteo dentro de asociaciones e instituciones científicas para buscar entre todos (hombres y mujeres) las soluciones a los problemas de la mujer en la ciencia, conformando de esta manera una sociedad que crezca a partir de la convivencia y la discusión abierta de sus problemas.

En cuanto a las interpretaciones sobre las causas del menor rendimiento aparentemente detectado en la mujer dedicada a ciencias biomédicas, creemos que deberían ser discutidas por las protagonistas, quienes no parecen haber sido consultadas.

Ada A. Ghilarducci, Bariloche

• *En adhesión a los términos de la carta que se reproduce firman doce investigadoras argentinas.*



Domingo Pronsato, "La tapera" (fragmento)

CRÍTICA

Agradezco a los editores de *Ciencia Hoy* por haber publicado la excelente crítica realizada por E. H. Flichman (vol. 1, n. 6, pág. 14), que me ha inducido a la lectura del fascinante libro *La vida, el tiempo y la muerte*, de F. Blanck-Cereijido y M. Cereijido. Comparto plenamente la crítica, en especial la apreciación sobre el desarrollo simple que ha tenido el texto, de las ideas freudianas y lacanianas (. . .). Lamentablemente existen erratas en el libro, que podríamos definir como de dislexias linotípicas, tales como Descartes (1975) (pág. 79) o Unamuno (1953) (pág. 114). Este excelente texto de divulgación científica hubiese merecido una mejor calidad de impresión.

Finalmente, me permito recomendar su lectura a aquellas inteligencias "de amplio espectro" que dan prioridad a ese valor humano, tan en desuso últimamente, que es la humildad.

Raúl Taboada, La Plata

AGRADECIMIENTOS

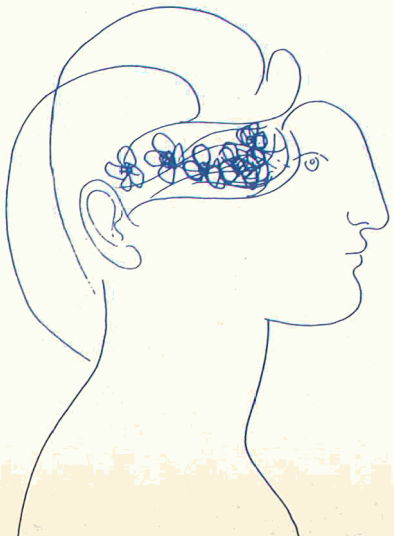
Deseo felicitarlos por la calidad y el atractivo del número de *Ciencia Hoy* dedicado a la Patagonia. Con relación a mi artículo "Una historia de 500 millones de años. La evolución geológica de la Patagonia", quiero destacar que el mismo se benefició con las críticas constructivas de Omar Lapido y de un árbitro anónimo de la revista. La figura 3, en particular, estuvo inspirada en la tesis doctoral de Patricia Sruoga, becaria del CONICET, que trata sobre el volcanismo en la Patagonia del Mesozoico.

Gustavo González Bonorino, Buenos Aires

EXCEPCIONAL

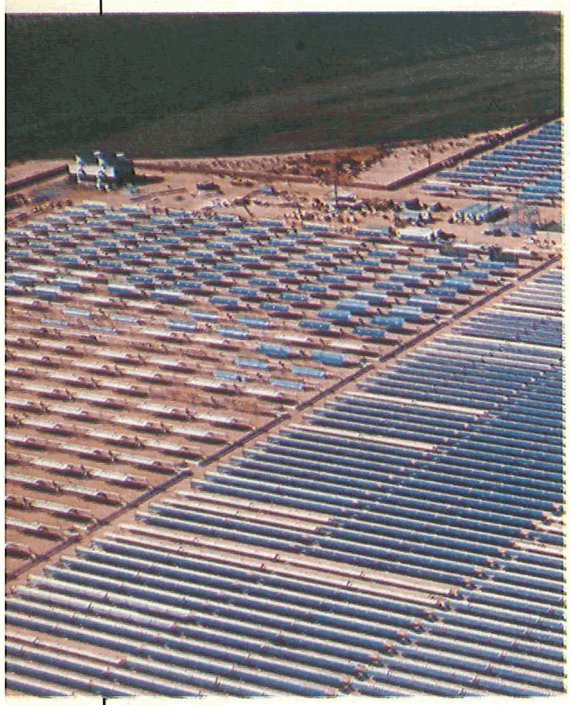
Felicito y agradezco a *Ciencia Hoy*. La felicitación va por el número verdaderamente excepcional dedicado a la Patagonia, que quedará, sin duda, como un testimonio fundamental sobre la región. Además pocas veces he visto una portada tan notable como la fotografía del cuadro de Domingo Pronsato. Felicito entonces, en particular, a los responsables de haber logrado un objeto plástico de tamaña calidad. El agradecimiento se refiere, desde luego, al lugar destacado que otorgaron a mi modesta contribución, "Las ciencias de lo excepcional". El dibujo de Picasso, que desconocía, es maravilloso y realza mi texto. Quiero destacar, finalmente, que sin la ayuda de vuestra editora de texto no habría llegado a clarificar algunas de mis ideas sobre el tema.

Antonio M. Battro, Buenos Aires

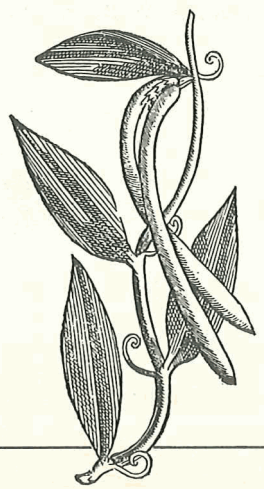


Pablo Picasso

12



28



22

CARTAS DE LECTORES 1

EDITORIAL 7

AQUÍ CIENCIA 8

La historia de los imanes permanentes transcurre entre la antigua piedra imán empleada a modo de brújula y los modelos actuales que emplean aleaciones de neomidio, hierro y boro. Recientemente se han comenzado a estudiar nuevos materiales que podrían dar lugar a la fabricación de imanes aún más eficaces que los empleados hasta el presente: los imanes permanentes de la década del '90.

PERFIL 12

Alberto Rex González sintetiza el desarrollo que en estos últimos cincuenta años han adquirido la arqueología y la antropología en nuestro país. Sus trabajos de campo en el noroeste argentino, a los que se debe el reconocimiento de la antigüedad e importancia de las culturas prehispánicas que habitaron dicha región, sus esfuerzos por incorporar al ámbito académico el estudio del arte precolombino, y la teoría sobre la evolución cultural del hombre, a la que se dedica actualmente, son jalones de una vida dedicada a la investigación.

MEMORIA DE LA CIENCIA 22

La actividad de una serie de instituciones destinadas a realizar estudios de historia de la ciencia y de la tecnología latinoamericanas, en sus aspectos sociales, éticos, políticos y culturales, constituye un hecho relevante para la reflexión teórica en nuestros países. A la vez que contribuyen a elaborar respuestas originales, ajustadas a los requerimientos de la región, permiten adquirir conciencia de los obstáculos que aún conspiran contra el desarrollo científico y tecnológico de América latina.

ARTÍCULOS

LA AGRESIÓN AL AMBIENTE 26

Fenómenos tales como la lluvia ácida, la disminución del ozono atmosférico y el incremento del efecto invernadero preocupan al hombre contemporáneo por sus actuales y futuras consecuencias. Tratados con rigor y profundidad por prestigiosos científicos, se presentan aquí estos temas y otros vinculados con ellos, como la necesidad de que exista un equilibrio entre la preservación del medio y la exigencia de los pueblos de avanzar en su desarrollo tecnológico.

UNA CUESTIÓN DE EQUILIBRIO 28
Jaime A. Moragues y Alfredo Rapallini

Ante la existencia de desequilibrios ecológicos se vuelve imperiosa la utilización racional de las fuentes energéticas convencionales y la gradual incorporación de otras nuevas, no contaminantes.

LLUVIA ÁCIDA 34
Armando Báez P.

Originada en la contaminación ambiental, la lluvia ácida es responsable de numerosos efectos nocivos: acidificación de aguas y suelos, perjuicios para la vegetación, deterioro de monumentos y edificios.

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y OZONO ATMOSFÉRICO 40
Luis V. Orce

La disminución de la capa de ozono atmosférico, que actúa a modo de filtro de la radiación ultravioleta solar, ha dado lugar a intensos estudios destinados a desentrañar la naturaleza del fenómeno y prevenir eventuales riesgos para los seres vivos.

34

METALES ESENCIALES PARA LA VIDA 50
Enrique J. Baran

El comportamiento de metales de transición presentes en los seres vivos en muy pequeñas cantidades sólo se ha comenzado a comprender en los últimos años. Se trata, sin embargo, de metales esenciales para la vida. Una nueva rama interdisciplinaria de la química, la bioinorgánica, estudia estos interesantes sistemas metálicos.

CIENCIA Y SOCIEDAD 58

Antiguas iglesias del noroeste argentino guardan tesoros artísticos coloniales, en muchos casos extremadamente deteriorados. Desde hace tres años, un taller de restauración lucha en Buenos Aires por conservar la vida de las preciadas imágenes. Compleja y sutil reunión de conocimientos artísticos y tecnológicos, la fascinante y anónima tarea de los restauradores ha dado sus primeros frutos y muchas de las obras, luego de haber sido expuestas en el Museo Nacional de Bellas Artes, han vuelto, restauradas, a los pequeños pueblos y capillas que las cobijan, en muchos casos, desde hace siglos.

58

Tapa: fragmento de "Angel militar", autor anónimo, escuela cuzqueña (?), último tercio del siglo XVII, que ilustra el artículo "Pintura colonial argentina: tarea de restauración" (pág. 58). Foto: Diego Ortiz.

Publicación bimestral de la Asociación Ciencia Hoy.

Sede: Avda. Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires, teléfonos 961-1824 y 962-1330.

Editores Responsables: Jorge Balán (Centro de Estudios de Estado y Sociedad), Daniel R. Bes (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Olga Dragún, *coordinadora* (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Patricio Garrahan (Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET).

Editor Asociado: Guillermo Boido (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata).

Consejo Editorial: Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Ennio Candotti (Instituto de Física, Universidad Federal de Río de Janeiro, *miembro invitado*), José C. Chiaramonte (Instituto de Historia "Emilio Ravignani", Universidad de Buenos Aires), Elena Chiozza (División Geografía, Universidad Nacional de Luján), Ezequiel de Olaso (Centro de Investigaciones Filosóficas), Samuel Finkielman (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Guillermo Jaim Etcheverry (Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires), Santiago Olivier (Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata), Alejandro C. Paladini (Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET), José Pérez Gollán (Museo Etnográfico, Universidad de Buenos Aires-CONICET), Alberto Pignotti (Fundación para el Desarrollo Tecnológico), Alfredo R. Pucciarelli (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires - CONICET), Osvaldo A. Reig (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata-CIC), Jorge E. Testoni (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica - CONICET).

Producción Editorial: Heber Cardoso.

Edición de Texto: Susana Frentzel Beyme, Gabriela Tenner.

Edición de Arte: Pablo Barragán (jefe), Verónica Mendívil (armado).

Asesoramiento administrativo contable: Estudio Baulán & Lezaola.

Administración: Beatriz Frydman (coordinadora), Silvia Pomeranicc (secretaria), Fabián Demarco (depósito y expedición), María García Blaya, Stella Maris Gramajo (servicios internos).

Colaboradores: Roberto Fontanarrosa (humor). Sergio Kern, Fernando Sendra, Raúl Torres (ilustraciones). Vicky Aldaz, Andrés Barragán (fotografía). Juan Carrère, Francisco Revelli (dibujos). Alberto Bernades (corrección).

Ciencia Hoy agradece la gentileza de los editores de *Acid Magazine* por autorizar la reproducción de la fotografía incluida en la página 37.

Consejo Científico: Rafael Braun (Centro de Investigaciones Filosóficas), Ranwell Caputto (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba), Rodolfo M. Casamiquela (Fundación Ameghino), Roberto Fernández Prini (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Juan José Giambiagi (Centro Latinoamericano de Física), Jorge E. Hardoy (Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo), Juan A. Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo H. Rapoport (Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue), Eugenia Sacerdote de Lustig (Instituto "Angel Roffo", Universidad de Buenos Aires), Samuel Taleisnik (Instituto de Investigación Médica "Mercedes y Martín Ferreira"), Gregorio Weinberg (CONICET).

Corresponsal en Alemania: Patricia Morales (Facultad de Filosofía, Universidad de Frankfurt) Frankfurt, Alemania Federal.

Corresponsal en Bariloche: Edgardo Angel Bisogni (Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche) Avda. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400) San Carlos de Bariloche.

Corresponsal en Córdoba: Juan Martín González, Bv. Chacabuco 1127 (5000) Córdoba (CONICOR), teléfono (051) 69-5101.

Corresponsal en La Plata: Néstor Murgier (Departamento de Geografía, Universidad Nacional de La Plata), calle 42 N° 1092 (1900) La Plata, teléfono (021) 24-8208.

Corresponsal en Mar del Plata: Alberto De La Torre (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata), Funes 3350 (7600) Mar del Plata, teléfono (023) 72-3831.

Corresponsal en México: Marcelino Cereijido (CINVESTAV, Instituto Politécnico Nacional) Apdo. Postal 14-740, México D.F., teléfono 586-05-01.

Corresponsal en Madrid: Eduardo F. Muscar Benasayag, Ma. de Molina 34 - 7° B (28006) Madrid.

Corresponsalía en Río de Janeiro: Revista *Ciência Hoje*, Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27, Río de Janeiro, CEP 22290, teléfonos 295-4846, 295-4442, 275-8795, télex (021) 36952. En esta dirección puede adquirirse *Ciencia Hoy* (precio sujeto a confirmación) o abonarse a una suscripción por seis números (precio sujeto a confirmación). *Ciência Hoje* puede adquirirse en Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires (precio sujeto a confirmación).

Suscripciones: América latina (excepto Argentina) y **África** (6 números): u$s 50 (aéreo). **EE.UU. y Europa** (6 números): u$s 60 (aéreo).

Distribución: En Capital y Gran Buenos Aires, Rubbo S.R.L. En interior, DISA S.A.

Asociación Ciencia Hoy: Es una asociación civil, sin fines de lucro, que tiene por objetivos: a) divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica del país; b) promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; c) estimular el interés del público en relación a la ciencia y la cultura; d) editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales y de sus aplicaciones tecnológicas; e) promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico del país; f) colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

Comisión Directiva: Patricio Garrahan (Presidente), Daniel R. Bes (Vicepresidente), Juana Pasquini (Secretaria), Alberto Ridner (Prosecretario), Ernesto E. Maqueda (Tesorero), Olga Dragún (Protesorera), José C. Chiaramonte, Alejandro C. Paladini, Roberto Perazzo, Enrique Segura (Vocales). El mandato de la Comisión Directiva dura de marzo de 1990 a marzo de 1992.

Colaboraron en la realización de este número: Fundación Antorchas, Universidad Nacional de La Plata, Organización de Estados Americanos, Fundación para el Desarrollo Tecnológico, Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries.

ISSN 0327-1218. Registro de la Propiedad Intelectual N° 177087.

Fotocomposición de Fototipia Linfoseter S.A., Agrelo 3259, Buenos Aires. Fotocromos y películas pluma de Fotocromos Columbia, Bolívar 1753, Buenos Aires. Impresa en la Argentina en Gráfica Super Press S.A., J. Ortega y Gasset 1784/86, Buenos Aires.

NUESTRA OBRA MAS IMPORTANTE:

CONTRIBUIR CON EL DESARROLLO DE NUESTRO PAIS

vialco s.a.

Empresa dedicada a la construcción

Obras civiles • Viales • Electromecánicas • Industriales

Avda. Paseo Colón 823, 3er. piso
(1063) Buenos Aires

☎ 361-8044/8545/8846
Fax: 361-3163

República Argentina

Muestra de impresión Kanji realizada por impresora IBM Proprinter XL24E K.

Un lenguaje milenario con tecnología argentina.

Argentina exporta a Oriente impresoras Proprinter IBM de fabricación nacional

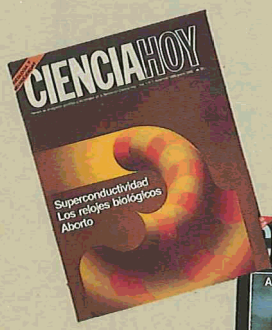
Japón, Taiwan, Corea, China y Singapur nos han elegido como únicos proveedores en el mundo de este modelo de **impresora Proprinter** especialmente diseñada para imprimir en diferentes caracteres orientales.
Una nueva demostración de que nuestra planta IBM Martínez cumple con los requerimientos de calidad de los mercados internacionales más exigentes.
Así, la **impresora IBM Proprinter** y una amplia gama de equipos integrantes de sistemas de computación fabricados por IBM Argentina, nos representan en más de 70 mercados alrededor del mundo y suman más de 1.100 millones de dólares acumulados en concepto de exportaciones para el país.

Todo un símbolo de que el mundo se lleva, de la Argentina, la mejor impresión.

IBM Argentina

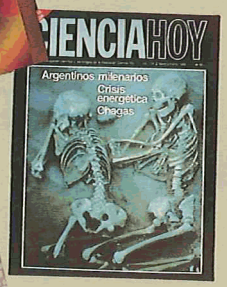
Ideograma Kanji cuyo sentido es: correcto, apropiado, justo.

Porque la ciencia es cosa de todos



1

Los relojes biológicos/Superconductividad/El rastro de los groebéridos/Aborto/Anfibios del delta/Neurociencias y psicología/Las BDZ del cerebro/Plomo en la atmósfera/La litiasis en busca de su etiología/Moléculas con memoria/Transferencia de un gen a la planta de maíz/¿Han muerto las supercuerdas?/Genética y desarrollo/50 años de la fisión nuclear/ No a las armas nucleares/Emigración de argentinos/La huella digital de ADN/Perfil de Rodolfo Casamiquela/

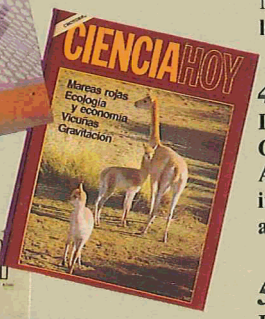


2

Las secciones indiscretas/¿Quién mató al megaterio?/Informe sobre Chagas/Energía: el azar y la necesidad/"Genes saltarines" y resistencia a los antibióticos/Orígenes de la nacionalidad argentina/La formación de los glóbulos rojos/La infancia en las ciudades/Medicina homeopática/Músculos para robots/¿Es caótico el movimiento del Plutón?/Mortalidad infantil/Pampa semiárida: nuevos cultivos/Perfil de Guido Beck/

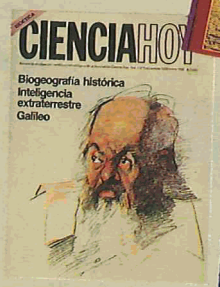
3

Fusión fría/La arquitectura de las neuronas/¿Y esto por qué se rompió?/Inflación e hiperinflación/Drogadicción/¿Es metafísica la inflación cosmológica?/Braun Menéndez nos falta por todas partes/Fecundidad adolescente/Memoria y censura/Las semillas artificiales/ No a la destrucción del medio ambiente/Diálogo entre científicos argentinos/Lavoisier: la madurez de la química/Entrevista a Pierre Thuillier/



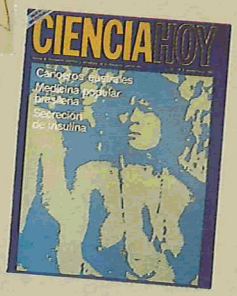
4

Indígenas en el mercado colonial/Mareas rojas/La cuestión ecológica/Paisaje con vicuña/ Gravitación y experiencia/Por qué no somos eternos/El dinosaurio antártico/El legado de Ameghino/La década del endotelio/El púlsar en la supernova/Crotoxina/Las comunidades incrustantes/Nuevas etapas del diálogo/Etica y situación contemporánea/Freud y la cultura argentina/Perfil de Juan J. Giambiagi/



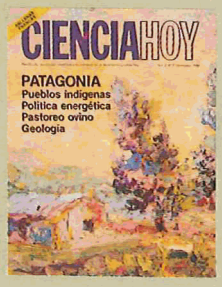
5

La biogeografía histórica/Búsqueda de inteligencias extraterrestres/Galileo y los efectos del tamaño/Nuevas imágenes de un mundo rural/Modelos hídricos y realidad/El matrimonio perfecto/Gravitropismo/Enrique Gaviola/Y era una sola flor la tierra/Bioética/Química orgánica y trasplante de órganos/El proyecto Columbus/Mujeres del Tercer Mundo/Mujeres en ciencias biomédicas/Entrevista a León Olivé/



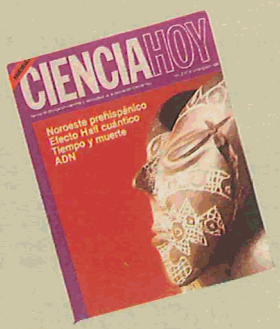
6

Canoeros del extremo austral/Medicina popular brasileña/¿Nuevos materiales para una nueva edad?/Secreción de insulina: la clave es el calcio/Intranquilidad en el Sol/El control ambiental a la deriva/El discreto encanto de calcular/Perfil de Eduardo H. Rapoport/



7

Patagonia/Una historia de 500 millones de años/Los pueblos indígenas/La pintura de Domingo Pronsato/Ballenas francas australes/El pastoreo ovino/La potencialidad del agua/ Política energética/Hábitat y energía: el caso de Río Turbio/Hacia una ciencia de lo excepcional/



8

Noroeste prehispánico/ADN: una molécula maravillosa/El efecto Hall cuántico/La muerte y sus ventajas/En busca del huemul patagónico/La extracción supercrítica/La quimera inmunológica ratón-hombre/Lamarck/Entrevista a Ilya Prigogine/

CIENCIAHOY

Pida estos ejemplares a su proveedor habitual

LA AGRESIÓN AL AMBIENTE

En los últimos cuatro siglos, período de intenso desarrollo científico, predominó una manera de entender los fenómenos naturales, humanos y sociales que dio prioridad a la consideración de las partes respecto del todo. No es de extrañar, entonces, que una descripción mecanicista y reduccionista impregnara la física, la química, e incluso las ciencias sociales. En el siglo XVII, Descartes y Bacon intuyeron que el método científico convertiría a los hombres en dueños y señores de la naturaleza. En efecto, utilizando técnicas que han requerido importantes aportes científicos, y en vista de la necesidad de aprovechar sus recursos, la naturaleza ha sido transformada, paulatinamente, por el hombre.

Al mismo tiempo, sin embargo, se han desarrollado pautas culturales y modos de vida insalubres, al amparo de un mal uso de ciertas tecnologías. Últimamente, haciendo frente a los criterios reduccionistas, se han revitalizado posiciones que privilegian la totalidad sobre las partes. De manera correlativa, se hace cada vez más evidente la necesidad de mantener con la naturaleza una relación armónica. Se advierte ahora el peligro de someterla y conquistarla sin una correcta evaluación previa de las posibles, peligrosas consecuencias. El presente número de *Ciencia Hoy* ha hecho de estas cuestiones su tema central.

Si bien los conocimientos científicos tienen un carácter universal y son patrimonio de la humanidad, no es posible evadir las realidades socioeconómicas de cada país. Más allá del debate actual acerca de la prioridad que cabe asignar en el desarrollo de la ciencia a los estímulos endógenos o exógenos, se puede afirmar que el fortalecimiento del estado moderno motivó, muchas veces, que el conocimiento científico avanzara como respuesta a demandas de la sociedad. Por estas razones, la empresa científica ha tenido un punto de apoyo, en cuanto a su organización, en las realidades nacionales, aunque en tanto que desarrollo intelectual pertenezca a la sociedad humana toda. Una novedad de las últimas décadas ha sido la ola creciente de problemas cuya propia naturaleza excede las fronteras políticas territoriales, es decir, que deben necesariamente ser concebidos como cuestiones globales. No sólo tienen consecuencia para toda la humanidad, sino que también requieren formas de cooperación mundial poco frecuentes en el campo de las aplicaciones científicas y tecnológicas. Tal es el caso del conjunto heterogéneo de disciplinas y enfoques orientados al estudio del ambiente. Problemas vitales de la biosfera no pueden ser pensados ni investigados desde la limitada perspectiva de una nación. Son necesarias, por ejemplo, mediciones fehacientes en todos los países, con patrones de calidad comunes. Un mundo cada vez más interdependiente genera problemas al conocimiento y a la acción de un orden totalmente distinto de aquéllos que eran habituales hasta hace poco. Refuerza, además, los estímulos para la cooperación entre científicos de distintas naciones o estados soberanos y requiere la existencia de recursos y facilidades institucionales intergubernamentales.

En este número de *Ciencia Hoy* se publican estudios sobre los efectos de la lluvia ácida (página 34) y los de la disminución de la capa de ozono (página 40). Aunque el primero de estos problemas afecta en grado mínimo a nuestro país, hemos creído oportuno considerarlo —a través de un artículo escrito por un investigador mexicano— para subrayar la globalidad del tema. En el próximo número se incluirá un trabajo cuya temática es afín: la extinción de especies.

El estado actual de la sociedad humana ha sido comparado a la etapa inicial de crecimiento exuberante de una colonia de bacterias introducida en un recipiente que contiene sustancias nutrientes. Tal crecimiento no puede ser indefinido: tarde o temprano las bacterias acaban con los recursos nutrientes o los contaminan con sus desperdicios. Pero la similitud termina aquí. La ciencia que posibilitó el desarrollo de las sociedades tecnológicas nos puede proveer de la información necesaria para lograr el delicado equilibrio entre la exigencia de industrialización, la finitud de los recursos y la fragilidad de la biosfera. Como se señala en ''Una cuestión de equilibrio'' (página 28), ello requiere un uso más eficiente de la energía producida y el desarrollo de nuevas fuentes no contaminantes. Se hace necesario, por tanto, que los científicos, junto al resto de la sociedad, demuestren que no son bacterias. Éste es el sentido de la declaración sobre el efecto invernadero firmada, entre otros, por 49 premios Nobel, que se reproduce en la página 33. Claro que, en última instancia, los científicos sólo pueden utilizar sus conocimientos para plantear alternativas. A la sociedad toda le corresponde optar.

¿Ciencia nacional?

En el nuevo reglamento de becas del CONICET, entre las ''obligaciones del Director de Beca'' (art. 10) aparece el siguiente ítem: ''procurar la formación científica, integral, ética y de sentido nacional del becario''.

Los editores de *Ciencia Hoy* ven con alarma la introducción de dicho ítem pues implica una tutoría ideológica que supone un paternalismo autoritario indefendible en el campo científico.

Además, nos preguntamos: ¿quiénes evaluarán el ''sentido nacional'' de los becarios? ¿Cómo se definirá si una cierta investigación posee o carece de tal ''sentido nacional''? ¿Descalificaremos a un becario que mostrare interés por temas globales que demanden cooperación internacional?

En nuestra opinión, estas medidas, que parecen presagiar futuros controles ideológicos, nada tienen que ver con la ciencia. Es más, son opuestas al desarrollo científico y por ende al desarrollo nacional, que con seguridad demandan la libertad de investigar y la libertad de pensar.

Los editores

Nuevos imanes permanentes

De cómo los imanes atraen a los hombres . . .

Todos los años, por el mes de marzo, una familia de gitanos desarrapados plantaba su carpa cerca de la aldea, y con un grande alboroto de pitos y timbales daban a conocer los nuevo inventos. Primero llevaron el imán. Un gitano corpulento, de barba montaraz y manos de gorrión, que se presentó con el nombre de Melquíades, hizo una truculenta demostración pública de lo que él mismo llamaba la octava maravilla de los sabios alquimistas de Macedonia. Fue de casa en casa arrastrando dos lingotes metálicos, y todo el mundo se espantó al ver que los calderos, las pailas, las tenazas y los anafes se caían de su sitio, y las maderas crujían por la desesperación de los clavos y los tornillos tratando de desenclavarse, y aun los objetos perdidos desde hacía mucho tiempo aparecían por donde más se les había buscado, y se arrastraban en desbandada turbulenta detrás de los fierros mágicos de Melquíades. "Las cosas tienen vida propia —pregonaba el gitano con áspero acento—, todo es cuestión de despertarles el ánima." José Arcadio Buendía, cuya desaforada imaginación iba siempre más lejos que el ingenio de la naturaleza, y aun más allá del milagro y la magia, pensó que era posible servirse de aquella invención inútil para desentrañar el oro de la tierra. Melquíades, que era un hombre honrado, le previno: "Para eso no sirve." Pero José Arcadio Buendía no creía en aquel tiempo en la honradez de los gitanos, así que cambió su mulo y una partida de chivos por los dos lingotes imantados.

Gabriel García Márquez, *Cien años de soledad*

El hombre ha conocido desde tiempos remotos la capacidad de ciertos minerales como la magnetita o piedra imán para atraer a otros minerales, en particular al hierro. Con respecto a los imanes permanentes (aquellos capaces de permanecer imanados en ausencia de un campo magnético externo), cabe recordar ante todo que su primera aplicación práctica dio origen a la brújula. Siglos después, al presentarse en escena la electricidad y la electrónica, este tipo de imanes comenzó a desempeñar una función importante en el desarrollo de las nuevas tecnologías. En la actualidad, su uso se ha generalizado y resulta, por así decirlo, cotidiano.

Toda una historia jalonada por hitos tecnológicos trascendentales transcurre desde la piedra imán hasta los modernos imanes metálicos de neodimio (Nd), hierro (Fe) y boro (B). Durante muchos años los imanes permanentes fueron fabricados con acero al carbono y su forma más común era la de herradura (los magnetos de los viejos Ford T tenían un imán de ese tipo). Ya en este siglo se descubrió que el hierro aleado con otros elementos formaba imanes más potentes, tal el caso del ALNICO constituido por hierro al que se le agrega aluminio (Al), níquel (Ni), y cobalto (Co).

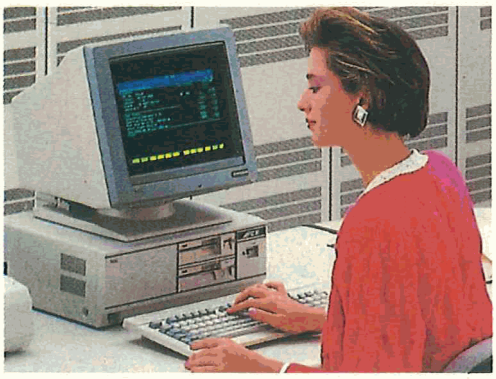
Alrededor del año 1950 se desarrollaron los imanes cerámicos de ferrita de bario, superiores al ALNICO en lo que se refiere a ciertos aspectos técnicos, pero sobre todo por ser más económicos. Esto permitió extender su uso a la vida diaria y así se los comenzó a aplicar en la fabricación de juguetes, cierres, parlantes, etcétera. En la década del '50 se descubrieron las excelentes cualidades que posee como imán permanente la aleación de platino (Pt) y cobalto, pero su costo impidió utilizar este tipo de imanes de manera generalizada.

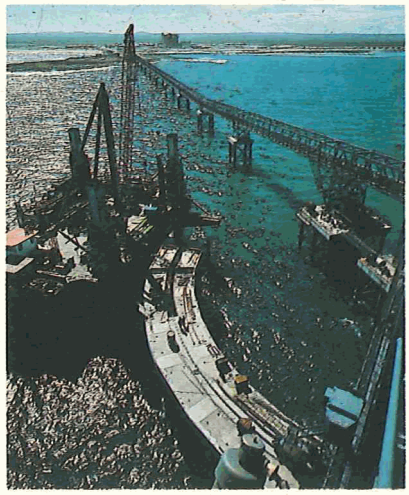
Durante la década del '60 se investigaron las posibilidades que ofrecía la aleación de samario (Sm) y cobalto, y se obtuvieron así imanes superiores a todos los conocidos hasta ese momento. Hacia 1970 se los comenzó a producir con fines comerciales pues, aunque de costo elevado, permitieron acentuar la tendencia hacia la miniaturización; pequeños imanes de esta clase se encuentran, por ejemplo, en algunos tipos de auriculares. Los mencionados imanes metálicos de Nd-Fe-B representan el último eslabón de esta cadena de sucesivos perfeccionamientos. Aparecieron en el mercado hace cinco años y tienen no sólo mejores propiedades que los de Sm-Co sino también precios inferiores debido a los materiales básicos que los constituyen.

Cabe preguntarse ahora qué características de un determinado imán hacen que se lo pueda considerar superior a otro. Habitualmente se dice que un imán es mejor que otro cuando se adhiere con más fuerza a los objetos de hierro, pero este criterio, si bien importante, es, por lo general, insuficiente. Los materiales magnéticos y, en particular, los imanes permanentes se caracterizan por la magnitud del campo magnético que induce en ellos un campo magnético exterior. Consideremos qué ocurre cuando este campo externo asume alternativamente valores positivos y negativos. Como puede observarse en la figura 1, a medida que el campo exterior, H, crece (o decrece), también lo hace el campo inducido, B. Sin embargo esto no ocurre de manera proporcional sino siguiendo un camino que se ha dado en llamar lazo de histéresis. En particular, advertimos que cuando H es nulo, el material presenta una imanación remanente, Br, positiva o negativa según la rama del lazo que estemos recorriendo. Esta imanación remanente sólo desaparece cuando es forzada por un campo externo de sig-

SADE

S. A. C. C. C. I. F. I. M.





Empresa Argentina Líder en:

Centrales Eléctricas y Líneas de Transmisión de Energía. Gas, Petróleo y Petroquímica. Obras Civiles. Comunicaciones.

Maipú 1 - piso 21 (1599) Buenos Aires - Argentina
Tel. 334-7114/8 - 334-7127/31
Télex 02-1443 Fax 54 111 1209

LA AGRESIÓN

Las alteraciones del ambiente causadas por la actividad del hombre preocupan no sólo a científicos y políticos sino a la sociedad en su conjunto. Sin embargo, las verdaderas connotaciones del problema se ven muchas veces distorsionadas de manera efectista, incluso desaprensiva. Por ello *Ciencia Hoy* presenta aquí trabajos de destacados investigadores que abordan de modo preciso y documentado temas tales como la lluvia ácida, la disminución del ozono atmosférico y el incremento del efecto invernadero. Valoran, a la vez, la importancia de encontrar un adecuado equilibrio entre la preservación del ambiente y la necesidad de progreso tecnológico de los pueblos, en particular de aquéllos menos desarrollados.

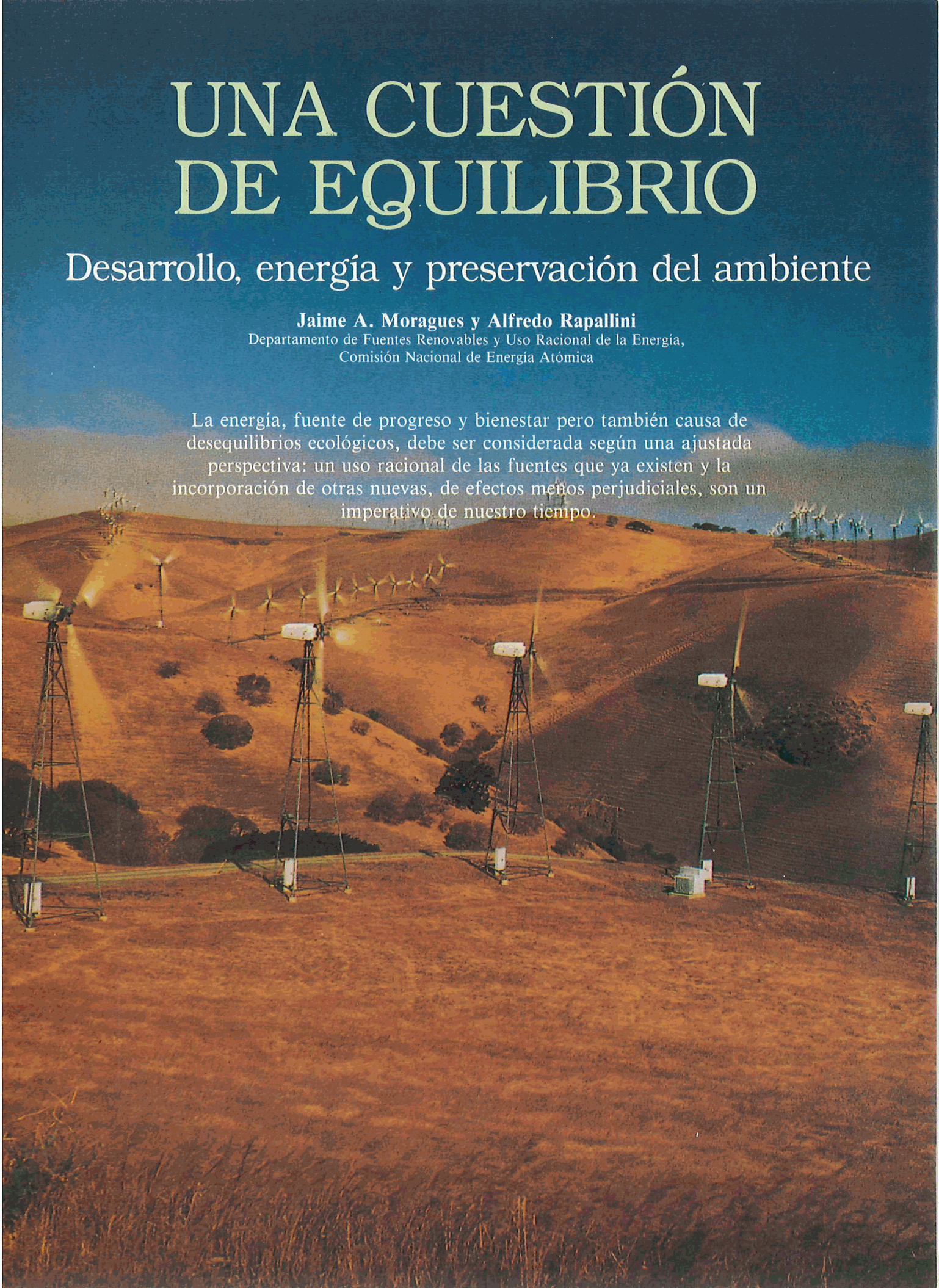
AL AMBIENTE

UNA CUESTIÓN DE EQUILIBRIO

Desarrollo, energía y preservación del ambiente

Jaime A. Moragues y Alfredo Rapallini
Departamento de Fuentes Renovables y Uso Racional de la Energía,
Comisión Nacional de Energía Atómica

La energía, fuente de progreso y bienestar pero también causa de desequilibrios ecológicos, debe ser considerada según una ajustada perspectiva: un uso racional de las fuentes que ya existen y la incorporación de otras nuevas, de efectos menos perjudiciales, son un imperativo de nuestro tiempo.



Los problemas ecológicos suscitados por la disminución de la capa de ozono de la estratosfera, por el incremento del efecto invernadero y por la lluvia ácida son tema de discusión cada vez más frecuente en ámbitos científicos y políticos. Han comenzado a tener, además, una amplia difusión pública. Importante es, por cierto, considerar estos fenómenos en sí mismos y analizar, para tratar de limitarlos, las actividades humanas que contribuyen a causarlos. Pero no es menos importante ubicarlos en un amplio contexto que también tenga en cuenta la necesidad de progreso de los países, sobre todo de aquellos menos desarrollados.

En circunstancias normales, la capa de ozono absorbe la radiación solar ultravioleta de longitud de onda media, extremadamente perjudicial para el hombre. La disminución de esta capa permite que una alarmante cantidad de dicha radiación llegue hasta nosotros.

El efecto invernadero, originado por la presencia en la atmósfera de gases que transmiten la radiación solar pero reflejan la infrarroja proveniente de la Tierra, asegura un nivel de temperaturas imprescindible para que exista la vida en el planeta. La presencia de un exceso de gases que exacerban este efecto comienza a producir un preocupante aumento de dicho nivel térmico.

La lluvia ácida se origina por la formación de ácidos en la atmósfera a partir, fundamentalmente, de la disolución de compuestos de nitrógeno y azufre emitidos desde la Tierra. Estos ácidos inciden negativamente sobre todo en lagos y bosques causando diversos trastornos de carácter ecológico.

La obtención, conversión y empleo de ciertos tipos de energía se encuentran entre las actividades realizadas por el hombre que mayor incidencia tienen en los procesos de modificación del ambiente. Sin embargo, la importancia de la energía como vehículo de desarrollo y medio para alcanzar una mejor calidad de vida obliga a descartar soluciones simplistas e impone la búsqueda de un delicado equilibrio: no se ha de caer en posiciones ecologistas extremas que impidan el crecimiento, sobre todo el de los países que más lo necesitan, pero éstos tampoco han de convertirse en depósitos de tecnologías contaminantes con tal de alcanzar su desarrollo económico.

Uno de los grandes desafíos que nos propondrá el siglo XXI ha de ser, sin duda, la necesidad de sustituir, o al menos disminuir, el empleo de los combustibles fósiles, principales causantes de gases que modifican el efecto invernadero y producen la lluvia ácida. Obsérvese que en 1987, la participación relativa de las diversas fuentes de energía en el total del consumo mundial de energía primaria comercial ($327 \cdot 10^{18}$ joules, correspondientes a $7{,}7 \cdot 10^{9}$ toneladas equivalentes de petróleo) fue la siguiente: combustibles fósiles 88,1%, hidroelectricidad 6,7% y energía nuclear 5,2%. Modificar esta situación será posible a través de dos caminos complementarios; por una parte, el empleo más racional de las fuentes energéticas ya existentes, por otra, una mayor utilización de alternativas que no contribuyan a los efectos mencionados, por ejemplo de fuentes nuevas y renovables de energía y de la energía nuclear. Entre las primeras cabe mencionar especialmente la energía solar, la eólica y aquella que utiliza la biomasa.

También se deberá realizar un esfuerzo considerable para sustituir los compuestos clorofluorocarbonados, principales responsables de la disminución de la capa de ozono. En la actualidad, éstos son muy utilizados en cuestiones vinculadas con refrigeración, aire acondicionado, aislaciones térmicas y aerosoles.

La descarga energética solar con su amplio rango de radiación que abarca infrarrojo, visible y ultravioleta, sumada a la contribución infrarroja terrestre, harían imposible la vida sobre la Tierra si no contáramos con la atmósfera, filtro óptico que absorbe, refleja o transmite en ambas direcciones las radiaciones recibidas. En valores medios, la atmósfera intercepta unos 230 W/m^2 de energía solar y emite hacia el espacio una cantidad equivalente del total de la energía que genera el planeta.

Ilustraciones: Fernando Sendra

El mantenimiento de este equilibrio producido en la atmósfera entre la radiación incidente desde el exterior y la proveniente de la Tierra se debe, en un 80-90%, a nubes, vapor de agua y dióxido de carbono (CO_2). Este último es responsable del 50% del efecto total, por lo que resulta interesante recordar que su participación como constituyente de la atmósfera es de sólo el 0,035%. El ozono (O_3), el metano (CH_4), ciertos clorofluorocarbonados (Cl_mF_nC, en particular Cl_3FC y Cl_2F_2C) y el óxido nitroso (N_2O) contribuyen al equilibrio descripto con el 10-20% restante. Importantes

Tabla I. Procedencia de los gases

Gases (a)	Emisión anual total	Fuentes de emisión			
		Energía	Agricultura Silvicultura	Otras actividades humanas	Ecosistema natural
CO_2 Pg C/año	116-177	4,5-5,5	0-2,6	0,1	111-169
CH_4 Tg C/año	212-772	30-110	80-210	25-135	77-317
N_2O Tg N/año	6-12	3-6	1-3	—	1-3
Cl_3FC Tg Cl_3FC/año	0,33	0	0	0,33	0
Cl_2F_2C Tg Cl_2F_2C/año	0,44	0	0	0,44	0

(a) La cantidad de gases está expresada en peso de uno o varios de los elementos que los componen, emitidos en un año.

P = peta = 10^{15}, T = tera = 10^{12}, g = gramo

Fuente: D.J. Wuebbles y J. A. Edmonds, "A Primer on Greenhouse Gases", DOE/NBB-0083, Office of Energy Research, Dpto. de Energía de los Estados Unidos, marzo de 1988.

Aerogeneradores de la central eólica que opera en Altamont, California, EE.UU. Foto cortesía de U.S. Windpower.

por su participación en procesos que determinan el clima y protegen la vida sobre la Tierra, estos gases se encuentran, sin embargo, en muy pequeñas cantidades en la atmósfera, entre partes por millón ($1/10^6$) y partes por mil millones ($1/10^9$). Ahora bien, si continúa la tendencia actual de producción por causa de la actividad humana de cinco de estos seis gases (CO_2, CH_4, N_2O, Cl_3FC y Cl_2F_2C) se estima que su concentración combinada será hacia mediados del próximo siglo el doble de la de CO_2 existente en la atmósfera en la época preindustrial. En este caso, el incremento de la temperatura global media actual de la Tierra podría ser de hasta 1,6° C. La importancia de las modificaciones que se suscitarían nos obliga a analizar de manera detallada la situación.

En la tabla I se indican, de acuerdo con un estudio realizado por D. J. Wuebbles y J. A. Edmonds, las fuentes de emisión de estos cinco gases. En el caso del CO_2, la producción debida a la actividad humana es un pequeño porcentaje del total anual; sin embargo, como el flujo natural se supone que está en equilibrio (balance neto de flujo igual a cero), sólo el debido a dicha actividad se considera responsable del aumento de este gas en la atmósfera. A la vez, la producción y uso de la energía son considerados causantes de los dos tercios de la emisión provocada por el hombre.

La actividad humana genera entre la mitad y las dos terceras partes del aporte anual de metano a la atmósfera. De esta cantidad, sólo entre el 20 y el 25% se debe a procesos de combustión; el resto proviene de actividades tales como la agricultura y la silvicultura.

Tabla II. Evolución de la concentración de gases en la atmósfera

Gases	Concentración (ppm)		
	1850	1980	2030
CO_2	275	339	450
CH_2	0,7	1,55	2,4
N_2O	0,28	0,3	0,4
Cl_mF_nC	0,0008	0,0015	0,006

ppm = parte por millón

Tomada de J.Ch. Hourcade, G. Megie, J. Theys y D. Crimee, 14th. Congress of the World Energy Conference, Montreal, setiembre de 1989.

Responsables fundamentales de la destrucción del ozono estratosférico, y en parte del efecto invernadero, los compuestos clorofluorocarbonados son producidos en su totalidad por el hombre. No están directamente vinculados con la generación y uso de la energía, pero están de algún modo relacionados con esta actividad: el 49% del Cl_2F_2C es producido para ser utilizado en refrigeración y unidades de aire acondicionado y el Cl_3FC se emplea fundamentalmente en la fabricación de espumas plásticas destinadas a aislación térmica, colaborando así en la reducción del consumo de energía.

Se observa en esta primera tabla que según el gas del que se trate varía mucho la incidencia humana en su producción; dentro de esta incidencia también varía considerablemente el aporte de la generación, transformación y uso de la energía.

En la tabla II se muestra la evolución de la concentración de los principales gases analizados desde la época preindustrial (1850) hasta el año 2030, según la estimación generalmente aceptada por la comunidad científica sin tomar en cuenta políticas energéticas que contemplen la cuestión ecológica. Nótese que se prevé un mayor aumento de la concentración de metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonados que de la de dióxido de carbono; esto es muy importante porque esos gases son mucho más eficaces para absorber energía infrarroja. Los químicos especialistas en cuestiones atmosféricas estiman que el calentamiento producido por el efecto combinado de estos gases llegará a igualar, o incluso a superar, al producido por el dióxido de carbono.

La tabla III muestra, distribuidos por regiones, algunos de los datos elaborados por J. R. Frisch. Estos datos indican la posible evolución de la emisión de CO_2 a partir de los valores de 1985 y las estimaciones para los años 2020 y 2060, así como la concentración esperada para cada uno de estos años y la demanda de energía fósil. Según este análisis, el conjunto de los países en desarrollo pasaría de una emisión de CO_2 del 14% del total en 1985 a una del 28% en 2060. Esto indica claramente que, aunque el perjuicio lo sufrimos todos, son los países desarrollados los que realizan el máximo aporte a la contaminación de la atmósfera. Ellos son, en consecuencia, los que más deben esforzarse por reducirla.

Si no hay efectos climáticos de realimentación tales como aumento de la concentración de vapor de agua, cambios en la proporción o composición de las reacciones químicas en la atmósfera, cambios de albedo (es decir de la capacidad de reflexión de las radiaciones por parte de la corteza terres-

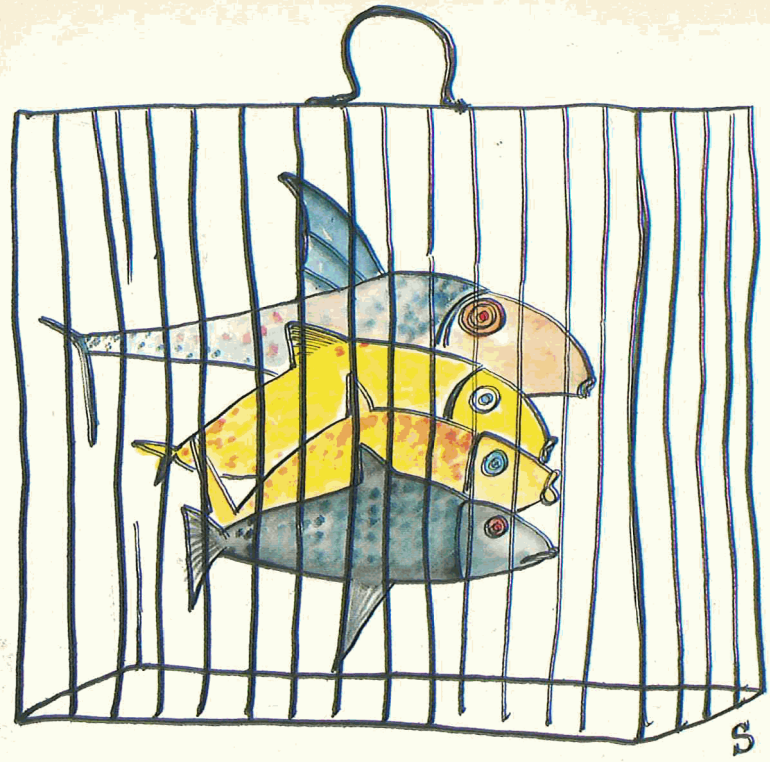
Tabla III. Emisión de CO_2 por región para los años comprendidos entre 1850 y 2060

Año	1850	1985							2020					2060				
Región	TOTAL	EE.UU. Canadá	Europa oeste	Japón Austra. N.Zel.	URSS Europa este	China	Países en desarrollo	TOTAL	(A)	URSS Europa este	China	Países en desarrollo	TOTAL	(A)	URSS Europa este	China	Países en desarrollo	TOTAL
Demanda energía fósil (Mtep)	150	1788	1070	422	1636	501	916	6383	4685	2270	822	2570	10348	4170	2773	1389	3833	12705
Emisión CO_2 (Mt. C/año)	120	1464	893	410	1349	495	754	5365	4182.	1808	747	2076	8813	4442	2223	1250	3100	11015
Concentración CO_2 (PPMV)	280-290							343					410-430					590-630

(A): EE.UU., Canadá, Europa oeste, Japón, Australia, N. Zelandia.

Mtep = Millón de tonelada equivalente de petróleo
Mt. C/año = Millón de tonelada de carbón por año
PPMV = Parte por millón en volumen

Fuente: J. R. Frisch, "Abondance énergétique: mythe ou réalité", 13ème. Congrès de la Conférence Mondiale de l'Énergie, Commission de Préservation, Editions Techni, 1986.



tre) a través, por ejemplo, de modificaciones en la extensión de la cubierta de nieve o de bosques o desiertos, etc., la actual proporción de los gases principales en la atmósfera permite estimar las variaciones de temperatura de la superficie terrestre. En la tabla IV se presenta un resumen de los resultados obtenidos por J. A. Edmonds, D. J. Wuebbles y M. J. Scott sobre cambios de temperatura de la superficie terrestre para dos escenarios futuros. Uno de ellos (escenario de baja) supone que la emisión de los gases que venimos considerando se mantendrá constante; el otro (escenario de alta) supone que la que se mantendrá es la tasa de crecimiento actual de dicha emisión. En ambos casos crece a través del tiempo la contribución relativa del CO_2 al aumento de temperatura. Se observa aquí el incremento de la temperatura global media de la corteza terrestre al que antes nos habíamos referido, que en el año 2050 sería de 0,81° C si se cumpliera lo previsto por el escenario de baja y de 1,57° C si se considera el de alta.

El efecto invernadero y la disminución de la capa de ozono de la estratosfera (sobre este proceso véase, en este número, "Radiación ultravioleta y ozono atmosférico", pág. 40) están vinculados de diversas maneras. Así por ejemplo, si el incremento de la radiación ultravioleta resultante de la reducción de la capa de ozono dañara los fitoplasmas del océano, se perdería una importante fuente de absorción de CO_2 y el consiguiente aumento de este gas en la atmósfera contribuiría a acentuar el efecto invernadero.

La emisión de dióxido de azufre (SO_2) y de monóxido y dióxido de nitrógeno (NO y NO_2) también debe ser controlada pues a partir de ellos se forman los ácidos sulfúricos y nítrico y resultan así responsables de la lluvia ácida (véase, en este mismo número, "Lluvia ácida", pág. 34).

El dióxido de azufre enviado a la atmósfera por acción del hombre es aproximadamente dos veces superior al producido naturalmente y proviene, sobre todo, de la quema de combustibles fósiles, que contienen azufre. Por el contrario, el nitrógeno contenido en los combustibles es escaso y los óxidos de nitrógeno se forman fundamentalmente por la reacción que se produce entre el nitrógeno y el oxígeno del aire como consecuencia del proceso de combustión. A la actividad humana se debe el 12% de la producción total de NO, en tanto que la de NO_2 resulta despreciable frente a la natural.

El mundo ve cada vez con mayor preocupación la incidencia negativa que ejerce sobre el medio el uso de ciertas fuentes de energía. En las próximas décadas, los combustibles fósiles seguirán siendo la fuente más importante de energía, pero tendrá gran importancia la búsqueda de sustitutos convenientes o de la manera de disminuir su empleo sin afectar el desarrollo de las actividades humanas.

Si se quiere concretar una real protección de la atmósfera terrestre, se requerirá un acuerdo internacional, fundamentalmente entre los países industrializados, principales responsables del proceso de contaminación. Existe como antecedente el denominado "Protocolo de Montreal", cuya intención es tomar precauciones adecuadas para evitar la disminución de la capa de ozono. Fue establecido en septiembre de 1987 por alrededor de sesenta países y luego ratificado por más de veinte de ellos. La Argentina firmó el protocolo *a posteriori*, encuadrándose en el artículo correspondiente a los países en desarrollo, y aún no lo ha ratificado. Entre los países firman-

Tabla IV. Cambio de la temperatura de la superficie terrestre en función de la concentración de gases

Año	CO_2 (a) °C (b) (%)	CH_4 °C (%)	N_2O °C (%)	Cl_3FC °C (%)	Cl_2F_2C °C (%)	TOTAL °C (%)
Escenario con tasa de crecimiento de emisión actual						
2000	(a) 0,21	0,09	0,01	0,06	0,12	0,49
	(b) 44	18	3	12	23	100
2050	(a) 0,81	0,36	0,09	0,10	0,22	1,57
	(b) 51	23	6	6	14	100
Escenario de emisión constante						
2000	(a) 0,17	0,02	0,02	0,04	0,08	0,34
	(b) 50	6	6	13	24	100
2050	(a) 0,58	0,03	0,08	0,06	0,13	0,81
	(b) 66	3	9	7	15	100

(a) Incremento de la temperatura por aumento de concentración del gas.
(b) Porcentaje de cada gas dentro del conjunto de los cinco gases considerados, de acuerdo con la emisión de cada uno de ellos en los escenarios analizados.
Fuente: J. A. Edmonds, D. J. Wuebbles y M. J. Scott, "Energy and Radiative Precursor Emission", 8th International Conference on Alternative Energy Sources, Miami, Florida, diciembre de 1987.

tes se acordó mantener a partir de 1989 la producción de los productos clorofluorocarbonados en un valor constante e igual a la producción de 1986 y reducir ésta a la mitad a partir de 1999. Asimismo, se acordó mantener a partir de 1991 la producción de los compuestos de bromo denominados halón-1211-1301-2402 en valores constantes e iguales a los de 1986. El Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas supervisa la implementación de las medidas acordadas.

Cuando los bienes o los males que produce una acción determinada no se han buscado o no se desean, suele hablarse de efectos externos o, para distinguir su carácter benéfico o perjudicial, de economías o deseconomías externas. Éste es el caso de la contaminación atmosférica producida por la acción humana, en particular de aquella vinculada con la energía. Esta circunstancia debería hacer que todo el proceso que permite disponer de energía de origen fósil llevara aparejado un costo adicional o "costo social", como tradicionalmente se lo ha denominado. Tal costo debe ser fijado evaluando los daños ecológicos y los beneficios sociales que conlleva el uso de cada tipo de energía, circunstancia que permitirá compararlos y propiciará que en un tiempo relativamente breve nuevas alternativas energéticas, menos contaminantes, compitan con las fuentes convencionales.

El uso racional de la energía, en su concepción más general, implica mejorar los procesos para obtener el máximo rendimiento con lo cual disminuyen las emisiones de residuos al medio. Implica también el empleo de procesos que consuman menos energía para obtener igual o superior rendimiento que el brindado por el proceso que se reemplaza. Todo ello contribuye a disminuir la contaminación sin afectar por eso el beneficio que se deriva del uso de la energía: cada kWh de energía ahorrado se puede considerar como un kWh de energía que no debe ser producido, contribuyéndose así a no incrementar la contaminación del medio.

El CO_2 que se produce por la utilización de combustibles fósiles es parcialmente compensado por absorción en el océano y fijación en las plantas mediante la fotosíntesis. Este último mecanismo es el único viable para extraer grandes cantidades de CO_2 de la atmósfera a un costo razonable, por lo cual la biomasa resulta ser un medio importante para retardar los efectos contaminantes causados por este gas. En la actualidad, el uso indiscriminado de los recursos de biomasa y la quema de superficies boscosas realizada para ampliar las zonas agropecuarias han provocado una deforestación tal que no sólo ha disminuido el área de absorción de CO_2 sino que también se ha generado una fuente contaminante adicional. En efecto, cuando las plantas mueren, son descompuestas por bacterias aeróbicas y anaeróbicas; las primeras son responsables de la formación de CO_2, las segundas, además de CO_2, producen metano.

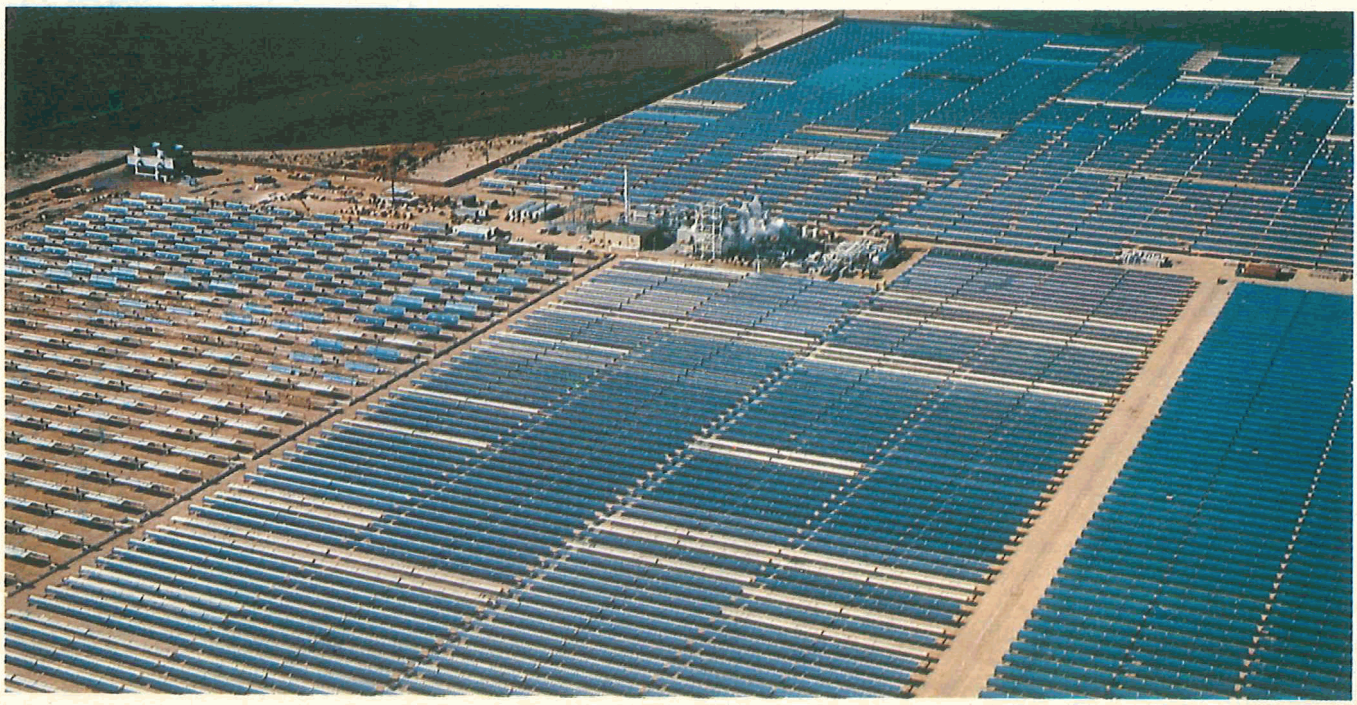
Los países en desarrollo cuentan con la biomasa como un bien que pueden mejorar a partir de la utilización racional de los suelos y de los recursos energéticos derivados de ella. Por esto se necesitan tecnologías convenientes para explotar las tierras y para mejorar los sistemas de aprovechamiento energético. Si también se realiza una gestión adecuada en lo concerniente a los bosques, estos países pueden incrementar considerablemente la producción de alimentos y combustibles sin necesidad de aumentar las superficies requeridas para su producción, vale decir, sin afectar nuevas zonas boscosas. En este sentido, resulta imprescindible no repetir desafortunadas experiencias del pasado, cuando la explotación intensiva de la biomasa, en especial de los bosques, fue realizada para exportar y no para satisfacer necesidades locales.

El aprovechamiento de las otras fuentes de energía denominadas nuevas (en particular la solar y la eólica) contribuye poco a la contaminación del ambiente, al menos en lo referente a los efectos que aquí hemos discutido. Pero aunque las tecnologías necesarias para su utilización han sido intensamente desarrolladas en los últimos 15 años, salvo en casos particulares no han logrado competir con las fuentes convencionales. El estudio integral de costos, incluyendo el efecto sobre el medio, hará que lleguen a competir en una franja cada vez mayor del mercado. Se establecerá entonces un proceso de realimentación mercado-desarrollo tecnológico que facilitará su inserción y por lo tanto su contribución para solucionar problemas ambientales. ⊙

LECTURAS SUGERIDAS

INFORME DE LA COMISION MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO, agosto 1987, "Futuro común" (Informe Brundtland), Naciones Unidas, A/42/427.

SCIENTIFIC AMERICAN, 1989, Special Issue "Managing Planet Earth", vol. 261, n° 3.

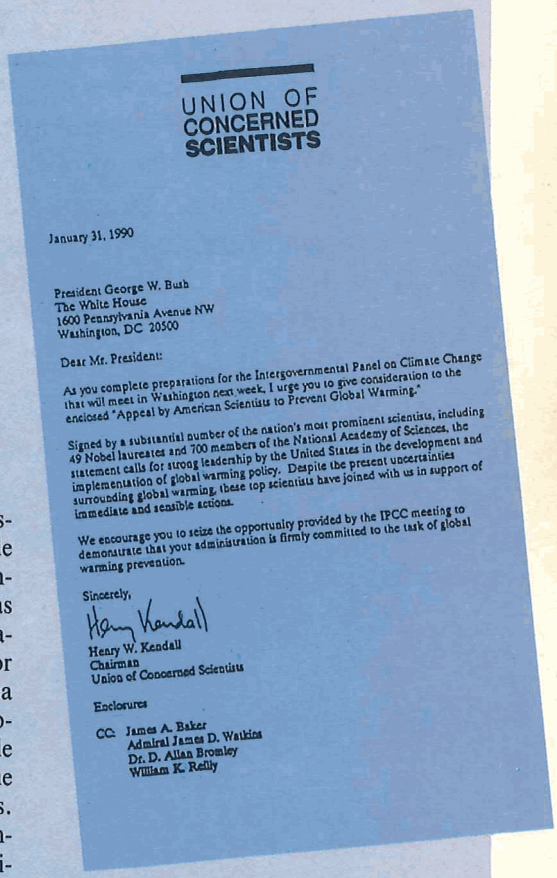


Central solar en Kramer-Junction, California, EE.UU. Foto cortesía de Luz International Ltd.

Alarma por el efecto invernadero

La *Unión of Concerned Scientists* es una asociación estadounidense, no partidaria y de interés público, constituida por científicos y ciudadanos que estudian las repercusiones de la tecnología sobre la política social. Entre los puntos esenciales de los análisis que realiza se cuentan los referidos a la política energética nacional, la política de seguridad, el control de armamentos y la seguridad de la energía nuclear. Actualmente es presidida por Henry Kendall, prestigioso físico del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Destacados científicos, entre ellos 49 premios Nobel y 700 miembros de la Academia de Ciencias de los EE.UU., efectuaron a fines de enero de este año un llamado al presidente Bush para que asuma su función rectora y adopte las medidas adecuadas para controlar y reducir las consecuencias del efecto invernadero. Dicho llamado, promovido por la *Union of Concerned Scientists*, es el que se reproduce a continuación.



UNION OF CONCERNED SCIENTISTS

January 31, 1990

President George W. Bush
The White House
1600 Pennsylvania Avenue NW
Washington, DC 20500

Dear Mr. President:

As you complete preparations for the Intergovernmental Panel on Climate Change that will meet in Washington next week, I urge you to give consideration to the enclosed "Appeal by American Scientists to Prevent Global Warming."

Signed by a substantial number of the nation's most prominent scientists, including 49 Nobel laureates and 700 members of the National Academy of Sciences, the statement calls for strong leadership by the United States in the development and implementation of global warming policy. Despite the present uncertainties surrounding global warming, these top scientists have joined with us in support of immediate and sensible actions.

We encourage you to seize the opportunity provided by the IPCC meeting to demonstrate that your administration is firmly committed to the task of global warming prevention.

Sincerely,

Henry W. Kendall
Chairman
Union of Concerned Scientists

Enclosures

CC: James A. Baker
Admiral James D. Watkins
Dr. D. Allan Bromley
William K. Reilly

El calentamiento del globo terráqueo se presenta como una de las más serias amenazas que atentan contra el ambiente en el siglo XXI. Hoy existe un amplio acuerda dentro de la comunidad científica con respecto a que la amplificación del efecto invernadero natural de la Tierra, debido a la acumulación de variados tipos de gases introducidos por la actividad humana, tiene la capacidad potencial de producir cambios dramáticos en el clima. La gravedad y velocidad de los mismos no pueden ser anticipados con suficiente seguridad en el momento actual, pero su impacto en la temperatura terrestre, en los niveles de los mares, en la precipitación pluvial y en otros componentes del clima podrían ser sustanciales e irreversibles medidos en una escala de centurias. Cambios de esta naturaleza podrían determinar una severa fractura de los sistemas naturales y económicos en todo el mundo.

Se requieren más investigaciones relacionadas con el problema del calentamiento de la Tierra para proporcionar una mejor base de datos y una más adecuada capacidad de predicción. Sin embargo, la incerteza no es una excusa para la complacencia. En vista de las potenciales consecuencias, es necesario iniciar de inmediato acciones destinadas a controlar la introducción de gases productores del efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono, los fluorocarbonados, el metano, los óxidos de nitrógeno y el ozono troposférico. Sólo si se actúa ahora se puede asegurar que las futuras generaciones no se encontrarán en situaciones de riesgo.

A los EE.UU. le cabe la especial responsabilidad de asumir una actitud de liderazgo destinada a prevenir el calentamiento del globo terráqueo. Es el más grande productor de los gases responsables del efecto invernadero y tiene, por otra parte, los recursos para hacer una notable contribución. Una política vigorosa y meditada de los EE.UU. puede tener un efecto directo y beneficioso que marque el rumbo para otras naciones.

Los EE.UU. deberán desarrollar e implementar una nueva Política Energética Nacional basada en la necesidad de reducir sustancialmente la emisión de dióxido de carbono, sosteniendo al mismo tiempo un crecimiento económico continuo. Los pilares fundamentales de esta política deberán ser la eficiencia energética y el desarrollo de fuentes de energía limpias.

Tal política deberá incluir:

1. un aumento creciente en las normas para la economía de combustibles de vehículos automotores, mientras se continúa con la búsqueda de combustibles y otras tecnologías que mitiguen el impacto producido por el dióxido de carbono;
2. un sustancial incremento en los fondos federales destinados a investigaciones sobre tecnologías de eficiencia energética, así como de aquellas tendientes a incentivar la adopción de un uso más eficiente de la energía;
3. el desarrollo, demostración y comercialización de tecnologías de energía renovables a escala masiva;
4. un programa de energía nuclear que ponga el énfasis en la protección de la salud pública y la seguridad; que resuelva, además, el problema de los residuos radiactivos y establezca un estricto control de seguridad con respecto a la tecnología que pueda ser aplicada a la fabricación de armas; y
5. una amplia consideración de los impactos ambientales, sociales y económicos a la hora de establecer subsidios federales y normas que regulen el desarrollo de fuentes de energía.

Estas medidas, junto con otras destinadas a reducir el uso de fluoroclorocarbonos y a difundir adecuadas prácticas agrícolas y de reforestación, pueden ser las bases para que se reduzca la emisión de gases productores del efecto invernadero en los EE.UU. y en otras naciones. Ellas proveerán otros importantes beneficios para la nación tales como fuentes de energía más diversas y flexibles, una reducción de la dependencia del petróleo importado y la creación de nuevas tecnologías energéticas para exportación y venta en el mercado internacional.

1° de febrero de 1990

LLUVIA ÁCIDA

Armando Báez P.
Centro de Ciencias de la Atmósfera,
Universidad Nacional Autónoma de México

Uno de los graves problemas que ha originado la contaminación atmosférica es la lluvia ácida, responsable de efectos adversos tales como la acidificación de lagos, ríos y aguas subterráneas, la acidificación y desmineralización de los suelos, daños a los bosques y el deterioro de edificios y monumentos históricos.

La atmósfera es un sistema dinámico que cambia en función del espacio y del tiempo; desde el punto de vista químico, funciona como un inmenso reactor cuya energía y materia prima son proporcionadas por la radiación solar y las emisiones naturales y antropogénicas, respectivamente.

Siempre han existido emisiones de gases hacia la atmósfera; el dióxido de azufre ha estado presente en ella por causas naturales, tales como la actividad volcánica, y el monóxido de carbono, que es producto de la quema de grandes bosques, muchas veces ocasionada por descargas eléctricas; además, desde que el hombre descubrió el fuego, empezó a provocar incendios, a propósito o accidentalmente. Sin embargo, hasta hace poco la naturaleza era capaz de asimilar estas alteraciones bruscas en la composición química de la atmósfera, por procesos de autopurificación, y después de un tiempo más o menos corto el equilibrio en los ecosistemas era restablecido.

Fue hacia finales del siglo XIX, cuando se originó el gran crecimiento industrial, que el hombre comenzó a alterar seriamente el balance de la naturaleza. La quema de combustibles fósiles, tanto para uso doméstico como industrial, que se acentuó en forma notable después de la Segunda Guerra Mundial, cuando la explotación petrolera quedó firmemente establecida, trajo como consecuencia que se acelerara la contaminación atmosférica. Esta última constituye un problema bien estudiado, al cual se le ha dado la importancia necesaria para contrarrestar, o al menos disminuir, los efectos nocivos que produce en el medio. Uno de estos efectos, ocasionado por la emisión de enormes cantidades de partículas y gases a la atmósfera, es el de la llamada lluvia ácida, que ha llegado a ser una de las principales preocupaciones ambientales en todo el mundo. Numerosas investigaciones científicas indican que provoca diversos daños a corto y largo plazo sobre el ambiente, entre los que se encuentran: la acidificación de los lagos, ríos y aguas subterráneas, con los consiguientes perjuicios a peces y otros organismos de los ecosistemas acuáticos; la acidificación y desmineralización de los suelos; cambios en los bosques y en la productividad de los cultivos; el deterioro de materiales de construcción y ornato, y la degradación de los sistemas de agua potable. Estos daños pueden ser ocasionados por largos períodos de exposición moderada o por episodios breves, pero de alta acidez.

La lluvia ácida es una consecuencia directa de la autopurificación de la atmósfera; por procesos de coalescencia, el agua de la nube arrastra impurezas atmosféricas, dentro de las cuales se encuentran sustancias que causan acidez. No todos los gases son removidos por la precipitación pluvial, pero el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno pueden convertirse en formas químicas de fácil incorporación a las gotas de lluvia, como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3) (véase la figura 1).

La radiación solar proporciona la energía a los procesos que convierten los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre en los correspondientes ácidos, procesos en los que también desempeñan un papel principal la cantidad de oxígeno y el agua disponible. La troposfera es la región más importante de la atmósfera donde se lleva a cabo este ciclo de reacciones. Éstas se inician cuando un fotón entra en colisión con una molécula de ozono (O_3), la cual puede tener su origen en vertimientos atmosféricos de la capa de ozono estratosférico o haber sido formada en la troposfera por la acción de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos contaminantes. El resultado de la colisión es una molécula de oxígeno (O_2) y un átomo altamente reactivo de oxígeno (O), el cual se combina con una molécula de agua (H_2O) para formar radicales hidroxilos ($HO^\bullet$). Esta escasa pero activa especie transforma el dióxido de nitrógeno (NO_2) en ácido nítrico e inicia la reacción que transforma el dióxido de azufre (SO_2) en ácido sulfúrico. Ambos ácidos pueden ser incorporados dentro de la nube o ser removidos por el lavado atmosférico dando origen a una lluvia ácida.

La concentración de los radicales hidroxilos en la atmósfera es de menos de una parte por trillón, pero es prácticamente inagotable, ya que varios procesos de oxidación los regeneran; por ejemplo, el radical hidroperoxilo ($HO_2^\bullet$), uno de los subproductos de la reacción inicial de dióxido de azufre, reacciona con el óxido nitroso (NO) dando el dióxido de nitrógeno y genera un nuevo radical hidroxilo ($HO^\bullet$), el cual a su vez puede oxidar miles de moléculas de azufre, y sólo la cantidad de contaminantes en el aire determina cuánto ácido es producido.

La acidez en la precipitación pluvial se define por el valor de la concentración, en equivalentes por litro, de iones hidrógeno [H^+] en la misma y se la expresa por su logaritmo negativo o pH ([H^+] = 10^{-pH}). La cantidad de ácido que aporta una lluvia ácida puede estimarse a partir del pH de la muestra comparado con el pH del agua destilada, a 20°C y en equilibrio con 300 partes por millón de CO_2 atmosférico, que es 5,6 y equivale a una lluvia neutra.

La acidificación es un fenómeno dinámico, y su extensión puede expresarse como el cambio de acidez de un estado a otro. Para medirla en términos cuantitativos que tengan un significado químico con respecto a los sistemas afectados, es necesario introducir un estado de referencia. Por ejemplo, si tenemos como referencia analítica un pH igual a 5,6, que corresponde, como dijimos, al agua destilada, ésta tendrá una acidez de + 2,5 microequivalentes por litro (μeql^{-1}) de H^+. Si aparte se tiene una muestra de lluvia con un pH de 3,8, entonces ésta tendrá una acidez de + 158,5 μeql^{-1} de H^+, es decir, será una lluvia ácida. Esto significa que a medida que se obtienen valores decrecientes del pH, aumenta la concentración en microequivalentes por litro del ion hidrógeno, que es el responsable de esta acidez.

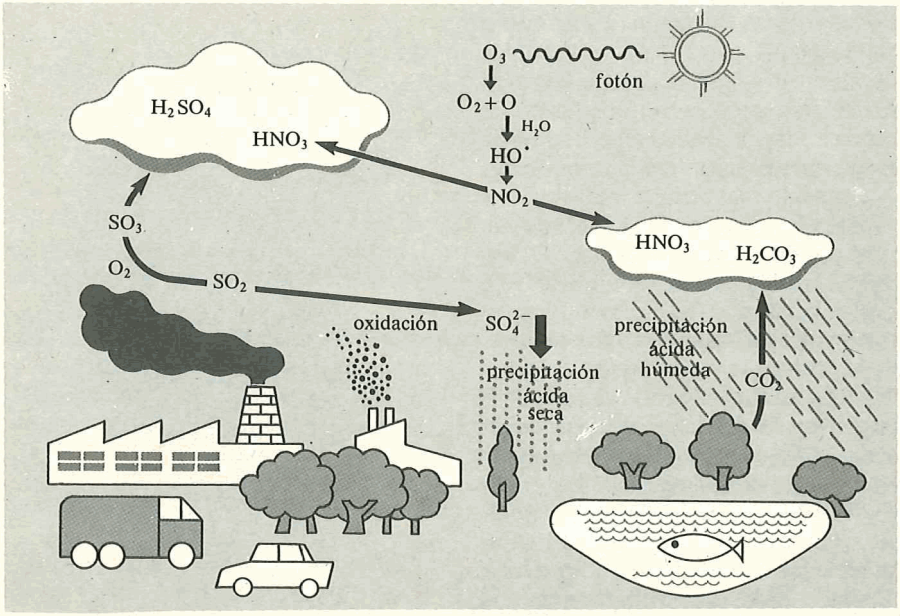


Fig. 1. Las emisiones de dióxido de azufre y óxido de nitrógeno son convertidas en sus respectivos ácidos, sulfúrico y nítrico, a través de reacciones que se producen en la atmósfera, y contribuyen así a la acidez ambiental. El dióxido de carbono también contribuye, al dar origen al ácido respectivo por hidratación.

Ilustraciones: Sergio Kern

Dibujos: Francisco Revelli

La lluvia ácida dejó de ser exclusiva de países industrializados y ha hecho acto de presencia en países subdesarrollados. A la fecha se ha observado y medido el cambio de acidez del aire y la precipitación en la mayor parte de Europa, el norte y centro de EE.UU., Canadá y el valle de México. Este cambio de acidez es uno de los mayores problemas derivados del llamado cambio químico del clima, causado por una variedad de emisiones en la atmósfera. Éstas pueden crear alteraciones bajo ciertas condiciones locales, regionales o globales, dependiendo, en gran medida, del tiempo de vida de los contaminantes en la atmósfera.

Existe un gran número de trabajos de investigación sobre la lluvia ácida y sus efectos. A continuación se presenta un resumen de algunos resultados.

En un inventario nacional llevado a cabo en Suecia, en 1985, se obtuvo un cuadro claro de la situación actual de los ríos y lagos de ese país. Este estudio indicó que el condado de Värmland, cerca de Oslo, Noruega, es el más afectado por la lluvia ácida, y que aproximadamente 15.000 lagos han sido acidificados en tal extensión que animales sensibles y algunas especies de plantas no han podido subsistir más en ellos. Incluso, 4.500 lagos prácticamente no tienen peces y sólo conservan las especies animales más resistentes, y más de 1.800 lagos han sido tan fuertemente acidificados que están próximos a quedarse sin vida.

En las montañas Adirondak, en Nueva York, los resultados indican que en algunos lagos existe una tendencia hacia la acidificación, de efecto particularmente notable en los microorganismos que se han preservado en los sedimentos lacustres. Con el cambio del pH, el conjunto de diatomeas y las algas cafés-doradas que se encuentran ahí como huéspedes se han modificado. Es posible distinguir algunas especies de estas plantas microscópicas por la forma de sus esqueletos, lo cual permite reconstruir los cambios que la comunidad ha sufrido con el tiempo. En seis de los once lagos de Adirondak, la acidez se incrementó desde 1930, y particularmente a finales de 1970; actualmente, su pH es menor que 5,2. Los investigadores encontraron que la única causa posible del cambio de pH era la alta acidez de la precipitación pluvial, ya que la lluvia colectada al oeste de Nueva York tenía un pH promedio de aproximadamente 4,1, el más bajo de EE.UU. Además, la escasa capacidad neutralizante de los suelos de granito y de los lagos acentuó aún más el problema.

La lluvia ácida también tiene un lugar preponderante en la lista de culpables del gran número de lagos ácidos que se encuentran en el centro y sur de Nueva Inglaterra.

Cuando el pH desciende, desata una serie de procesos que originan cambios en todos los niveles de la cadena alimenticia de los lagos; factores químicos y biológicos interactúan para transformar el sistema lacustre y, al mismo tiempo, un aumento en el contenido de metales pesados en solución hace hostil el ambiente acuático para muchas plantas y animales. Esta situación sólo favorece a ciertas especies, que terminarán por dominar a todas las otras formas de vida en el lago acidificado. La desaparición de algunas especies se debe a que los individuos jóvenes son mucho más sensibles a la acidificación que los adultos. En los lagos ácidos se ha encontrado que, por ejemplo, los cardúmenes de peces *Rutilus rutilus* constan esencialmente de individuos viejos, ya que el desarrollo de organismos jóvenes cesa casi por completo debido a la acidez; lo mismo ocurre con los huevecillos, que pueden ser totalmente destruidos a un pH bajo. En los lagos que han sido rápidamente acidificados, se ha observado que los únicos sobrevivientes son aquellos individuos que pudieron crecer antes de que el pH alcanzara un nivel crítico.

Como ya se mencionó, uno de los efectos de la acidez en un cuerpo de agua es su enriquecimiento en metales pesados, muchos de ellos tóxicos para los organismos acuáticos. El aluminio parece ser el más tóxico cuando el pH es menor que 5; así el metal es absorbido por el pez y almacenado en varios órganos, donde interfiere en el intercambio con las sales del ambiente. En algunos casos, puede formar plaquetas de hidróxido de aluminio en las agallas; así, reduce la oxigenación de la sangre y eventualmente sofoca al pez.

Existen asimismo consecuencias adversas en los niveles bajos de la cadena alimenticia; por ejemplo, el plancton, del cual se alimentan los peces, no soporta la acidificación. Un lago pobre en nutrientes, pero con un pH superior a 6 debe tener entre 30 y 80 especies de fitoplancton; un lago acidificado es incapaz de contener más de 5 a 10 especies, y en él las diatomeas de libre movimiento y las algas verdiazules están completamente ausentes.

En los países que sufren los problemas derivados de la lluvia ácida se han realizado profundas investigaciones sobre sus efectos en los suelos, y se ha encontrado que éstos han cambiado drásticamente en áreas boscosas. En el sur de Suecia, la acidez de los suelos se incrementó de 5 a 10 veces y sus niveles de nutrientes se redujeron a la mitad en 30 años, y es muy probable que en un futuro próximo ya no dispongan de calcio ni de magnesio, indispensables para los árboles.

Se observa también que la acidez no ha quedado confinada a las capas superficiales del suelo; por el contrario, ha penetrado a profundidades considerables, y puede convertirse en una amenaza para las aguas subterráneas. Preocupa pensar que esté modificándose la estructura de los suelos, y que su resistencia a la acidez disminuya conforme se agoten las reservas de sustancias neutralizantes. En un suelo ácido se remueven más fácilmente los nutrientes, que han sido lixiviados y asimilados por las plantas, y el efecto de la dinámica normal de los agentes atmosféricos no es suficientemente rápido para reemplazarlos. Con el tiempo, los suelos se empobrecen, con la consecuente repercusión sobre el sistema vegetal.

Desafortunadamente, esta acidez del ambiente no sólo se manifiesta en los bosques, suelos y lagos; también se nota en las aguas subterráneas, cuya calidad está determinada principalmente por la de la precipitación pluvial, así como por la composición de los gases y partículas en la atmósfera, de los suelos y, finalmente, de las rocas con los que entra en contacto.

Si, como lo indica el ciclo hidrológico, la precipitación pluvial es el principal mecanismo de recarga de ríos, lagos y aguas subterráneas, una modificación intensa de su calidad deberá reflejarse en estos sistemas acuáticos. Cuando la lluvia ácida llega a la superficie, se infiltra a través de suelos con mayor o menor cantidad de carbonatos y otras sustancias neutralizantes. A su paso por estos estratos, el agua puede neutralizarse y aun volverse alcalina; sin embargo, los suelos arenosos o volcánicos contienen sustancias neutralizantes en cantidades tan pequeñas, que con el transcurso del tiempo pierden su capacidad reguladora. El agua ácida que se filtra a través de ellos per-

Foto: Tore Hagman, tomada de *Acid Magazine*. 4, autumn, 1986

Vegetación agredida por la lluvia ácida en un bosque nórdico.

manece en ese estado y recarga los acuíferos, que llegan a tener un pH menor que 5.

Una de las consecuencias inmediatas del ataque de ácidos fuertes, como el nítrico y el sulfúrico, presentes en el agua de lluvia, es la disolución de una serie de metales, como el aluminio, que forma parte de los silicatos, como se observa claramente en la península escandinava, donde ya se han encontrado casos de acidez en sus mantos de agua subterráneos. A pesar de que hasta la fecha no se conocen con certeza los efectos que puede tener en los seres humanos beber agua con un alto contenido de aluminio (de uno a dos miligramos por litro), instituciones noruegas que se han dedicado al estudio de este problema, como el Buró Central de Estadística, señalaron que existe una correlación entre la demencia senil y los niveles de aluminio presentes en el agua.

La acidificación de los suelos es un problema grave y difícil de resolver a corto plazo, ya que cuando ellos han acumulado gran cantidad de nitratos y sulfatos continúan contribuyendo a la acidificación de aguas subterráneas por muchos años. En el municipio de Mark, al suroeste de Noruega, esta acidificación afectó a más de 3.000 pozos particulares en algunos casos con tal intensidad que las regaderas y lavabos de las casas, y aun los cabellos de las personas, empezaron a adquirir una pátina de color verde, producto de las sales de cobre disueltas en el agua. Los análisis de los pozos demostraron que ésta era suficientemente ácida como para corroer la tubería de cobre; de ahí que fuera capaz de producir los efectos que hemos señalado.

Otro caso parecido al anterior ocurre en la población de Värmland, Suecia, a 20 km de la frontera con Noruega: en algunas casas de la localidad se ha acelerado la destrucción de los calentadores de agua. Los estudios realizados para establecer la causa de estos daños prematuros indican que la corrosión de las tuberías dentro de los calentadores se debe, principalmente, al bajo pH de las aguas subterráneas.

En un estudio realizado en 1978, se encontró que en ciertas regiones de Inglaterra y la República Federal de Alemania se liberaban a la atmósfera más de 30 toneladas de dióxido de azufre por hora, por cada área de 150 km^2. Durante ese mismo año, la lluvia depositó 586 mil toneladas de azufre en la superficie de Suecia, y los suecos consideran que son responsables de sólo unas 100.000 toneladas, es decir, un poco más de la sexta parte del total.

Preocupados por la acidez de sus lagos, aguas subterráneas, suelos y bosques, los suecos han logrado reducir sus emisiones de compuestos de azufre y nitrógeno a la atmósfera, gracias a las medidas de control aplicadas; las emisiones suecas se han reducido de una sexta a una décima parte de las indicadas anteriormente.

También otros países como Inglaterra, la República Federal de Alemania, Estados Unidos y Japón han establecido leyes y reglamentos muy estrictos para reducir las emisiones no sólo de las sustancias precursoras de la acidez ambiental, sino aun de otras que han tenido efectos negativos sobre la calidad del medio.

Es importante mencionar que mientras en otros países se multiplican las investigaciones y la aplicación de métodos correctivos para reducir la precipitación ácida, muy poco se ha hecho en México, que continúa su rápido crecimiento industrial, con una fuerte explosión demográfica. Los estudios realizados tanto en dependencias gubernamentales como en instituciones de investigación universitaria señalan que los niveles de contaminación en las grandes ciudades del país, y en particular en el valle de México, se incrementan constantemente.

El complejo metropolitano tiene una población aproximada de 18 millones de habitantes: más de 30.000 pequeñas, medianas y grandes industrias, y aproximadamente tres millones de vehículos con motores de combustión interna. No causa por lo tanto extrañeza conocer la enorme cantidad de emisiones que se lanzan a la atmósfera. En 1985, los valores estimados de los cuatro contaminantes más abundantes en el área

metropolitana de la ciudad de México fueron los siguientes:

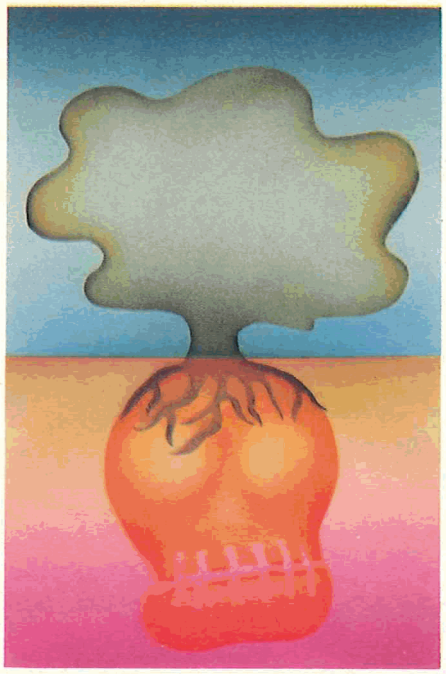
	Ton/año
Monóxido de carbono	3.720.000
Hidrocarburos	528.000
Dióxido de azufre	411.000
Óxidos de nitrógeno	132.000

Como se deduce del cuadro anterior, la acidez atmosférica debe estar presente en el valle de México, ya que ahí son enormes las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, ambos compuestos precursores de la lluvia ácida. En efecto, una serie de estudios que lleva a cabo desde 1984 el Laboratorio de Química Atmosférica, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, confirma que la lluvia ácida está perfectamente establecida en el valle de México y que, además, muestra una tendencia hacia un continuo aumento.

Muestras secuenciales tomadas en la Ciudad Universitaria en 1984, tuvieron un pH promedio de 4,47, un máximo de 5,8 y un mínimo de 3,56; simultáneamente, muestras tomadas a 80 km de distancia del valle, en Rancho Viejo, una zona próxima al Nevado de Toluca, tuvieron un pH con una media de 4,64, un mínimo de 4,31 y un máximo de 5,46. Esto señala la importancia de los mecanismos de transporte, y que aun las zonas rurales son afectadas por la contaminación originada en la ciudad de México.

A pesar de que en el valle de México se han registrado precipitaciones pluviales con un carácter fuertemente ácido y que se han encontrado valores tan bajos como pH = 3, los efectos de la lluvia ácida parecen menos severos que en otras regiones del mundo. Esto se debe, en primer lugar, a que los suelos son fuertemente alcalinos y, en segundo lugar, a que las fábricas de cemento, cal, yeso y cerámica, entre otras, arrojan a la atmósfera emisiones alcalinas. Estos dos factores contribuyen a neutralizar la acidez del aire, si bien sólo temporalmente; cuando se inicia la temporada de lluvias, por efecto del lavado atmosférico, las partículas alcalinas neutralizan las primeras lluvias, pero a medida que las precipitaciones se hacen más frecuentes o más abundantes se observa un incremento en su acidez. Esto se ha podido comprobar con el estudio de la composición química de la lluvia, que incluye la medición del pH mediante un muestreo secuencial. En la figura 2 se muestra gráficamente el comportamiento del pH del agua de una lluvia colectada en forma secuencial en diversos recipientes. Como puede verse, las fracciones colectadas al inicio del evento resultaron ser menos ácidas que las últimas.

En el valle de México no existen lagos importantes en los que pudiera observarse una



posible acidificación, pero dadas las condiciones de los suelos calizos del valle, es muy probable que la acidificación no se hubiese producido.

Con respecto a los bosques situados al sur del valle de México, no se ha evaluado aún el efecto de la lluvia ácida sobre ellos ni sobre los suelos donde se desarrollan. La zona del Desierto de los Leones se encuentra muy dañada y se han tenido que talar árboles en grandes extensiones; una de las causas que se aducen es el ataque de plagas, tales como el gusano barrenador, pero es bien

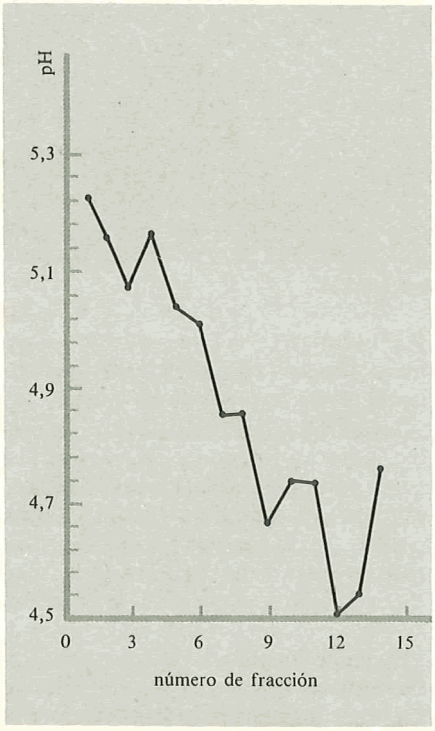


Fig. 2. pH de cada una de las fracciones de lluvia colectadas en forma secuencial durante un evento pluvial en la ciudad de México.

sabido que un bosque sometido al *stress* de la contaminación del aire es susceptible de sufrir por causa de plagas y otros daños. Además, es muy probable que la lluvia ácida esté reduciendo el contenido de nutrientes, calcio y magnesio en los suelos de esa zona, y que ésta sea otra de las causas del daño a la vegetación.

Se mencionó anteriormente que en la zona metropolitana no existen lagos ni suelos que puedan ser acidificados rápidamente, pero no debe olvidarse la herencia cultural que existe en la ciudad, que sí es amenazada por la lluvia ácida; edificios, monumentos y otras obras invaluables pueden ser irremisiblemente dañados por ella. Recuérdese que los monumentos de Italia y Francia sufrieron más daños en los últimos 30 años, debido a la acidez de la atmósfera, que durante varios siglos.

Es tan grande la preocupación que causa la acidez del ambiente, que los países altamente industrializados han establecido comités y grupos de estudio para que señalen metas tendientes a disminuir las emisiones contaminantes.

En los países escandinavos y otros del norte de Europa se considera necesario que para el año 1993 la emisión de compuestos de azufre se haya reducido en un 30%, si se quiere disminuir gradualmente la acidificación de los lagos; en este mismo porcentaje deberán reducirse las emisiones de óxido de nitrógeno para 1995.

Estos porcentajes han originado serias controversias entre los científicos y algunos de ellos han manifestado "que el 30% no es suficiente para evitar los daños al ambiente, y que las emisiones de azufre deberán reducirse hasta en 90%, mientras que los compuestos de nitrógeno y el ozono deberán acortarse en 75%".

Una de las pocas pero acertadas medidas que se han tomado en el valle de México es la sustitución del combustóleo, un derivado de la refinación del petróleo con un alto contenido de azufre, por gas, en las centrales termoeléctricas; esto repercute en una sensible disminución de las emisiones de dióxido de azufre.

La reducción de los niveles de ciertos contaminantes en la atmósfera es un gran reto, aun para la más avanzada tecnología. En gran medida, la aplicación de sistemas para el control de las emisiones a la atmósfera supone un incremento sustancial en los costos de producción que, a la larga, recae directamente sobre el consumidor. No obstante, éste es el precio que hay que pagar para preservar el ambiente.

Sin duda, cada vez serán más costosos los sistemas de control para abatir los niveles actuales de contaminación; esto da lugar a

Lluvia ácida en la Argentina

Junto con el "efecto invernadero" y el así llamado "agujero estacional de la capa de ozono", las precipitaciones ácidas —líquidas o secas— constituyen uno de los graves problemas ambientales globales que reconocen su origen en la actividad del hombre. Ponen también de manifiesto el modo en que la industrialización masiva destruye la capacidad de neutralización y autodepuración que tiene la atmósfera para los desequilibrios generados por los fenómenos naturales. En su artículo, Armando Báez P. muestra con ejemplos muy representativos los dramáticos efectos de las lluvias ácidas sobre diversos sectores del ambiente: materiales, flora, fauna y el hombre mismo.

Tres factores, al menos, hacen que el fenómeno no haya alcanzado en la Argentina las expresiones alarmantes experimentadas en América del Norte y en Europa, particularmente en la República Federal Alemana, el Benelux y los países escandinavos. El primero se refiere a la circulación de los vientos en el hemisferio Norte, donde se generan en gran proporción los precursores de los compuestos ácidos. Felizmente para nosotros, los vientos circulan de oeste a este, de allí que sean especialmente los escandinavos, los impotentes destinatarios de la acidez producida por la industria norteamericana. En segundo lugar, la mayoría de nuestros suelos tienen naturaleza calcárea y, por tanto, neutralizante, como sucede en la pampa húmeda. Esta situación contrasta con el caso de los países escandinavos, cuyo escudo basáltico es incapaz de neutralizar la acidez; así, ésta se acumula hasta alcanzar niveles incompatibles con formas de vida sencillas. Finalmente, debe señalarse que los petróleos argentinos poseen bajo contenido de azufre, lo cual reduce —sin encarecer costos por tratamientos especiales— la posibilidad de formación de dióxido de azufre por combustión. Este factor de contaminación, por otra parte, disminuye a medida que el petróleo y sus derivados son gradualmente sustituidos por gas natural o por una mayor utilización de la energía hidroeléctrica. Subsiste, sin embargo, el problema de la generación de ácido nítrico a partir de los óxidos de nitrógeno que resultan de las combustiones a altas temperaturas.

El estudio de la acidez y sus efectos presenta serias dificultades. Es necesario fijar criterios para la toma y conservación de muestras, la elección del material de los recipientes, las correcciones por el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis y decidir las técnicas de determinación de la acidez: por medición del pH, valoración de la acidez total o cálculo por balance iónico. Los datos obtenidos por el empleo de estas tres técnicas están relacionados entre sí y se complementan, pero la información que ofrecen no da lugar a conclusiones siempre coincidentes. Dichas técnicas no son las mismas, por otra parte, que aquéllas empleadas hace 20 ó 30 años, lo que impide una adecuada comparación entre valores presentes y pasados. Además, rara vez los ácidos fuertes se encuentran en ausencia de CO_2 y de ácidos orgánicos, que actúan como reguladores; en ciertos casos, incluso pueden hallarse en presencia de sustancias neutralizantes (por ejemplo, el amoníaco).

En nuestro país se han llevado a cabo investigaciones sobre lluvia ácida en el Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM), del CONICET, en colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional, bajo la dirección de O. Canziani. Un informe correspondiente al período diciembre 1983-diciembre 1984 señala que los estudios fueron realizados en un área centrada en Buenos Aires y con un entorno de 200 km: se obtuvieron 98 registros correspondientes a 77 precipitaciones con valores de pH igual a 6,05 (mediana). No se encontraron —lo cual, por las circunstancias mencionadas, era previsible— diferencias significativas entre valores hallados en las estaciones donde se recogió el mayor número de datos: Observatorio Central del Servicio Meteorológico Nacional, Castelar y Martín García. Otra contribución del mismo grupo, debida a V. Tarufi y S. Zabala, informa de los resultados obtenidos al tratar de encontrar diferencias en cada una de las mismas 77 precipitaciones en tres emplazamientos diferentes. Aunque en veinte de ellas se hallaron valores de pH inferiores a 5,65, la mediana resultante de la aplicación de un ensayo no paramétrico no acusó diferencias significativas. Las tres series de datos correspondieron a poblaciones distribuidas del mismo modo.

El autor de esta nota no sabe de la existencia, en la Argentina, de datos contemporáneos sobre anomalías en la vegetación o deterioros en materiales producidos como consecuencia de la lluvia ácida.

José A. Catoggio
Centro de Investigaciones del Medio Ambiente
Universidad Nacional de La Plata

las siguientes preguntas: ¿Cuánto tendrá que pagar el hombre para recuperar sus bosques con la fauna que abrigaban? ¿Cuál va a ser el costo de la neutralización de sus ríos y lagos, para evitar la extinción de la fauna acuática? ¿Está la humanidad dispuesta a aceptar la destrucción de la herencia cultural de muchos siglos, representada por sus grandes obras de arte? Y, por último, ¿por cuánto tiempo más la humanidad podrá soportar la lluvia ácida y sus efectos? ⊙

Este artículo se publica por cortesía de la revista Ciencia y Desarrollo, *del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.*

LECTURAS SUGERIDAS

Acid Deposition. Effects on Geochemical Cycling and Biological Availability of Trace Elements. Subgroup on Metal of the Tri-Academy Committee on Acid Deposition, 1985, National Academy Press, Washington, D.C.

ANIANSSON, B., 1988, "New Action Plan to Tackle Air Pollution and Acidification", *Acid Magazine*, vol. 6, págs. 2-5.

BÁEZ, P. A., PADILLA, G. H. y GONZÁLEZ, G. O., 1986, "Acid Rain over Mexico City and Surrounding Rural Areas", *Geof. Int.*, vol. 25, n. 2, págs. 315-346.

BRAVO, A. H., PERRIN, G. F., SOSA, E. R. y TORRES, J. R., 1988, "Incremento de la contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana de la ciudad de México", *Ing. Amb.*, vol. 1, n. 1, págs. 8-14.

FALK, H., 1988, "Green Hair and Sea Shells", *Acid Magazine*, vol. 6, pág. 28.

HANNEBER, P., 1987, "Keeping Tabs on Acidification", *Acid Magazine*, vol. 1, págs. 2-4.

MOHNEN, A. V., 1988, "The Challenge of Acid Rain", *Scientific American*, vol. 259, n. 2, págs. 14-22.

ODEN, S., 1976, "The Acidity Problem-An Outline of Concepts", *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 6, págs. 137-166.

THUMBERG, B., 1988, "Two Water Heaters Corroded", *Acid Magazine*, vol. 6, pág. 29.

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y OZONO ATMOSFÉRICO

Frecuentes, por cierto alarmantes y muchas veces efectistas, los artículos que se refieren a la disminución del ozono atmosférico son difundidos por diarios y revistas de todo el mundo. Una mezcla de verdad y fantasía penetra así en los hogares, donde expresiones hasta hace poco desconocidas o casi nunca utilizadas —capa de ozono, radiación ultravioleta, etc.— han sido incorporadas al lenguaje familiar. El momento exige, sin embargo, definiciones precisas y una exposición clara, seria y exhaustiva del problema, así como de los interrogantes que la situación plantea a los científicos.

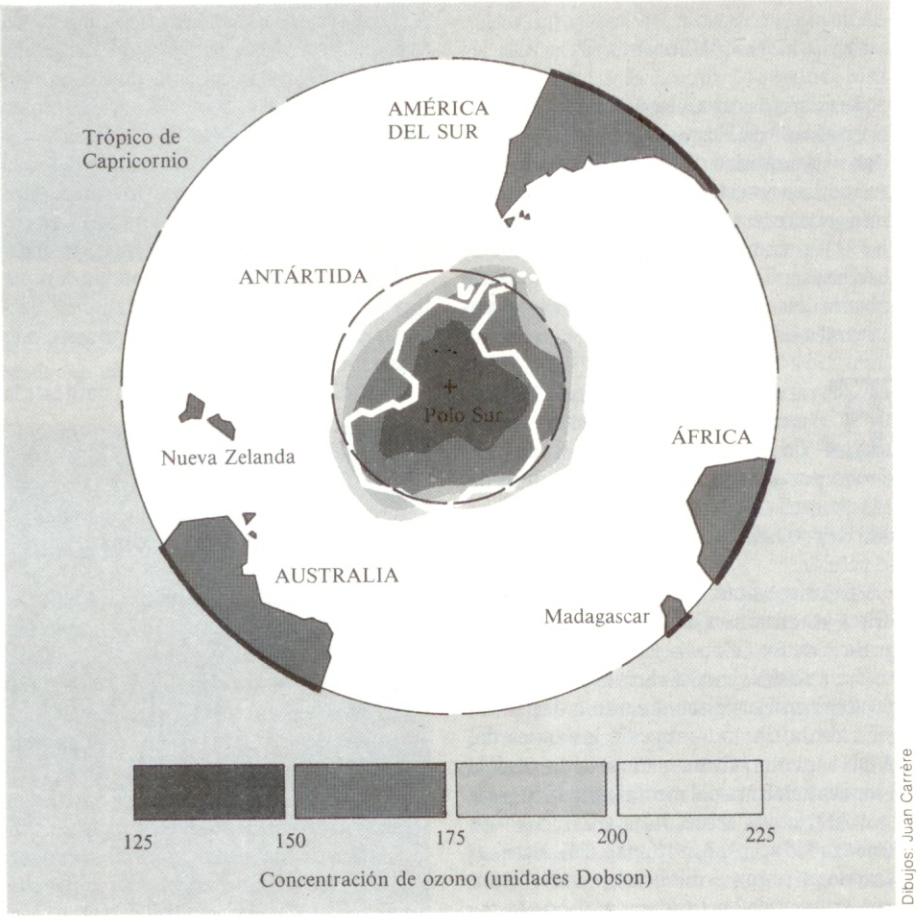
Luis V. Orce
Departamento de Radiobiología
Comisión Nacional de Energía Atómica

Se denomina ultravioleta (UV) a la fracción del espectro solar correspondiente a las longitudes de onda menores que las visibles por el ojo humano. En masa de aire cero, es decir en el espacio exterior, la radiación UV solar se extiende desde los 400 nanómetros (nm) hasta los 180 nm. Originalmente dividida, según su proximidad al espectro visible, en radiación UV cercana y lejana, el avance de la fotobiología —rama de la biología que estudia la acción de las radiaciones lumínicas sobre los bioorganismos— promovió una nueva clasificación: UV-A o UV cercana (320-400 nm), UV-B o UV media (290-320 nm) y UV-C o UV lejana (inferior a los 290 nm).

Aunque los tres tipos de radiación pueden dañar a los seres vivos, el efecto más perjudicial es el causado por la UV-C. Afortunadamente, el ozono atmosférico absorbe totalmente la radiación solar UV-C y parcialmente las otras, por lo que recibimos sólo el 10% de la UV-B y el 90% de la UV-A. Éstas, sumadas, constituyen un 6-8% del total de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.

El ozono es un compuesto triatómico de oxígeno (O_3), que junto con otros gases integra una capa de unos 30 km de espesor en la alta atmósfera. Se forma fundamentalmente en la región trópico-ecuatorial (po causa de una mayor disponibilidad de oxígeno y de una mayor insolación) y se distribuye luego por toda la estratosfera.

Su concentración se mide en unidades Dobson (UD) equivalentes a un centésimo de milímetro de espesor, de modo que 100 UD conformarían una capa de 1 mm siempre que el O_3 fuera colocado sobre la superficie terrestre en condiciones normales de presión y a una temperatura de 0°C. Complejas razones meteorológicas hacen que la concentración normal de ozono entre los trópicos sea de 250-260 UD y que en latitudes mayores pueda llegar a superar los 300-400 UD. Pero en el Polo Sur ha llegado a ser, durante los meses de setiembre y octubre, de solamente 125-150 UD (véase la figura 1).



Dibujos: Juan Carrère

Fig. 1. Distribución de la concentración de ozono en diferentes regiones del hemisferio Sur. La zona blanca corresponde a valores que superan las 225 UD.

Mediante una serie de reacciones fotoquímicas, el O_3 se forma al incidir la radiación UV solar sobre moléculas de oxígeno atmosférico (O_2). Si ésta posee una longitud de onda (λ) inferior a los 240 nm (radiación UV-C), los fotones de energía $h\nu$ que la constituyen son absorbidos por el O_2, cuya do-

ble ligadura se rompe dando origen a dos átomos de oxígeno (O'):

$$O_2 + h\nu\ (\lambda < 240\ nm) \rightarrow 2O' \quad [1]$$

Ahora bien, los átomos de oxígeno son fuertemente reactivos y muchos de ellos colisionan con O_2 produciendo O_3. Esta reacción, que permite atrapar la energía de los fotones incidentes, ocurre sólo en presencia de una tercera molécula (M), sea ésta nitrógeno o cualquier otra capaz de absorber la energía cinética remanente:

$$O' + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad [2]$$

Tan importante como la formación del ozono es su disociación. Ésta se produce porque las ligaduras del ozono son también blanco de radiación UV solar (en este caso de longitud de onda correspondiente a la UV-B):

$$O_3 + h\nu\ (\lambda < 310\ nm) \rightarrow O_2 + O' \quad [3]$$

Se cierra así un ciclo de "ozonogénesis-ozonolisis" en el que no cambia ni la calidad ni la cantidad de los componentes. Como consecuencia de este ciclo nos queda un importante beneficio: toda la radiación solar UV menor de 290 nm y gran parte de la comprendida entre 310 y 290 nm resultan absorbidas en la alta atmósfera, razón por la cual no llegan a la Tierra.

Experimentos de laboratorio han demostrado el efecto nocivo causado por la radiación UV-C, en particular por aquella con longitud de onda de 253,7 nm. Se ha determinado así su capacidad de producir, aun en bajas dosis, muerte celular.

En el nivel molecular, esta radiación modifica la estructura de las pirimidinas integrantes de los ácidos nucleicos. La más estudiada de tales modificaciones es la que se produce en el eslabonamiento o dimerización de la timina —una de las bases del ADN—, como consecuencia de la cual se bloquea la lectura del mensaje genético (véase "ADN, una molécula maravillosa" en *Ciencia Hoy*, vol. 2, n° 8, pág. 26). Este hecho por sí solo permite comprender hasta qué punto resulta fundamental que la radiación UV-C solar sea absorbida en su totalidad por la capa de ozono.

Los efectos de la radiación UV-A en las células han sido objeto de diversos estudios. En el Departamento de Radiobiología de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), investigamos un efecto subletal inducido en bacterias que han sido expuestas a bajas dosis de dicha radiación. En estos experimentos se irradian suspensiones de *Escherichia coli* con una intensidad similar a la de la radiación solar que llega a la corteza terrestre en un día normal (35-40 W/m^2). Las bacterias así irradiadas sufren una inhibición en su crecimiento atribuida a una modificación estructural de algunos ácidos ribonucleicos (ARN) de transferencia, cuya inactivación impide la biosíntesis de proteínas. Transcurridos 100 minutos desde el momento de la irradiación, las bacterias comienzan a recuperarse espontáneamente. El bioquímico R. Pizarro ha comprobado que durante este experimento se produce un daño en las membranas cuya reparación, estimulada por modificaciones en las condiciones ambientales, permite que las bacterias se recuperen de las lesiones radioinducidas en menos de la mitad del tiempo antes mencionado.

Por su parte, el bioquímico G. Boselli ha estudiado la biosíntesis de la lipoproteína de Braun (LPB) en bacterias también expuestas a bajas dosis de radiación UV-A. La LPB se encuentra fundamentalmente en la pared bacteriana y se caracteriza porque en su composición no figuran los aminoácidos cuyos ARN de transferencia son inactivados por la radiación UV-A. Los resultados obtenidos prueban que la LPB es la única proteína cuya síntesis continúa durante el retraso de crecimiento antes descripto. Este trabajo permite considerar la posibilidad de que la mencionada proteína cumpla una función biológica importante en bacterias cuyo hábitat está muy expuesto a la radiación solar.

La radiación UV-B difiere bastante de la UV-A en cuanto a su ámbito de acción, y sus efectos sobre la salud son los que mayor atención han recibido por parte de los especialistas. Recientemente se ha realizado una nueva evaluación de las lesiones oculares que ocasionan las exposiciones prolongadas a esta radiación y se ha iniciado una campaña para lograr que las personas que por causa de sus tareas se ven expuestas a ella protejan sus ojos mediante el uso de viseras frontales y anteojos.

El efecto biológico más importante de la radiación UV-B se produce sobre la piel humana. A eritemas y quemaduras producidas como consecuencia inmediata de la exposición, han de sumarse afecciones a largo plazo tales como elastosis (formación de arrugas) y algunos tipos de carcinomas, por ejemplo los epiteliomas, que se manifiestan en personas de piel particularmente sensible sometidas a exposiciones solares prolongadas. Más aún, trabajos recientes relacionan a la radiación UV-B con bloqueos inmunológicos y con la inducción de melanomas. Éstos ofrecen mayores riesgos que los epiteliomas pues su penetración en la piel más allá de los 750 micrones promueve la diseminación metastásica múltiple.

Como no toda la radiación UV-B es retenida en la atmósfera y su incidencia sobre la superficie terrestre depende de la cantidad de ozono atmosférico, éste debe ser controlado permanentemente. Su concentración es medida sistemáticamente con globos sondas, por medio del satélite artificial Nimbus-7 y por una red terrestre de espectrofotómetros Dobson, dos de ellos en la

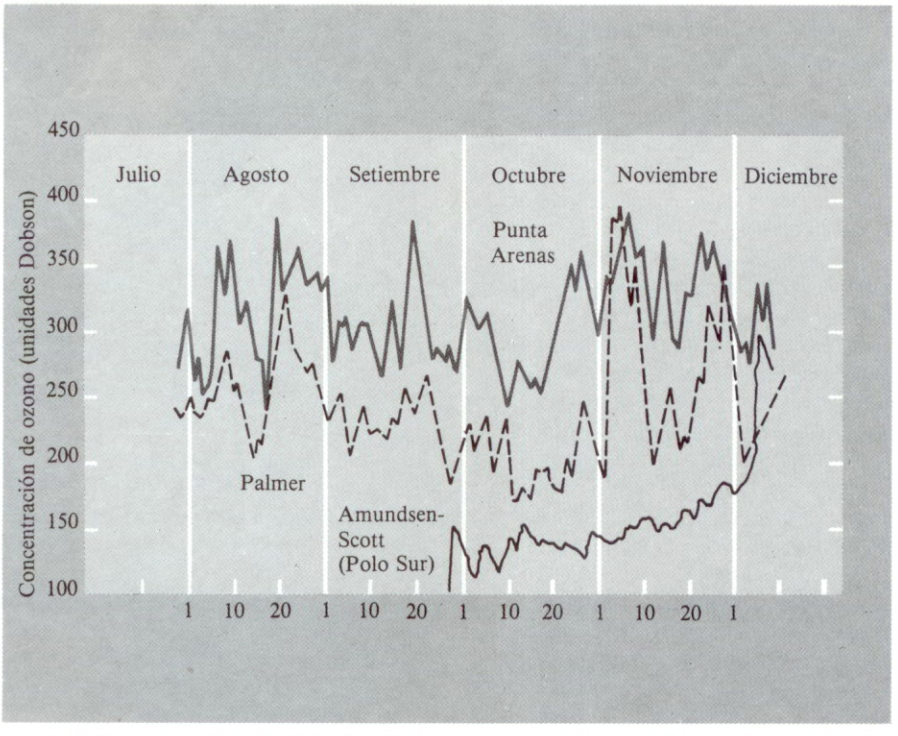


Fig. 2. Mediciones diarias de la concentración de ozono registradas en 1987 por el satélite Nimbus-7 en dos sitios antárticos y un punto de referencia externo (Punta Arenas).

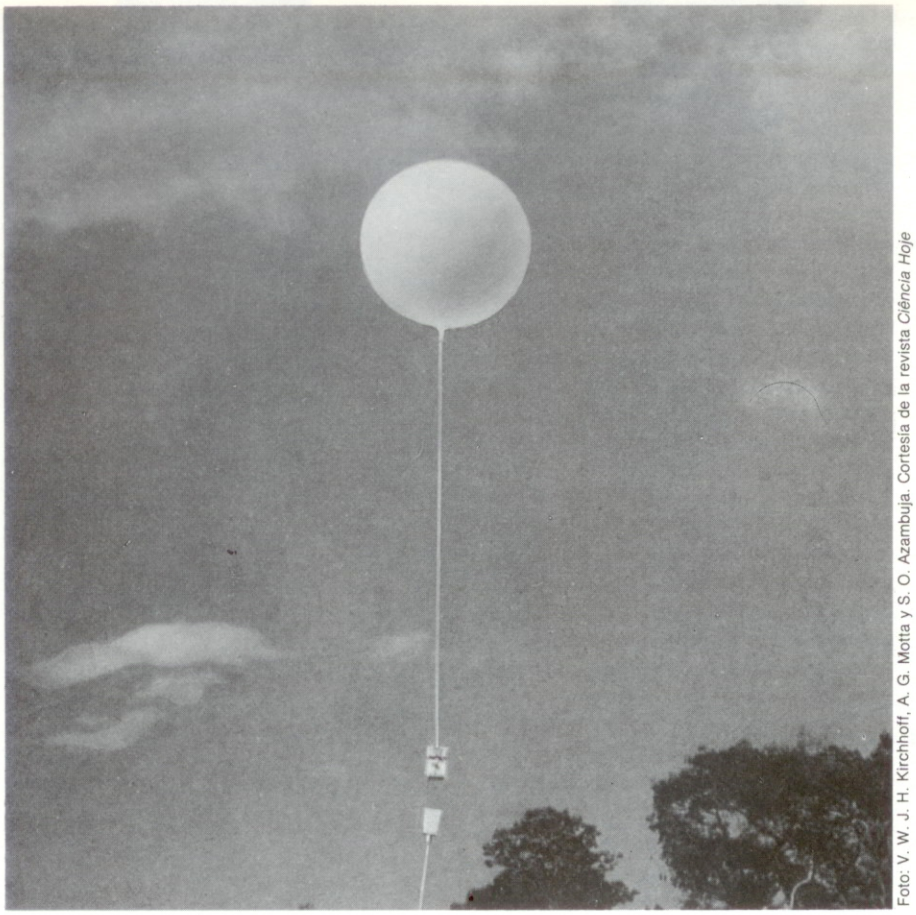


Foto: V. W. J. H. Kirchhoff, A. G. Motta y S. O. Azambuja. Cortesia de la revista *Ciência Hoje*

Globo ozono-sonda durante su lanzamiento en el marco del proyecto brasileño "Ozono". Se enviaron, en promedio, dos globos mensuales a partir de 1978. La altura que se alcanza con este procedimiento es del orden de los 35 a 40 km como máximo. Al llegar a la estratosfera, el instrumental envía señales que son captadas por receptores instalados en tierra.

Argentina: uno en Buenos Aires y el otro en la base antártica Vicecomodoro Marambio. El sistema utilizado en los globos ozonosondas consiste en el pasaje de aire del ambiente durante el ascenso del globo por una solución de yoduro de potasio que reacciona con el ozono según su concentración. La información, traducida en una diferencia de potencial eléctrico, es transmitida a la Tierra. Éste es el único procedimiento que permite realizar mediciones directas del ozono, pues con los otros métodos, su concentración se infiere de mediciones ópticas realizadas en distintas longitudes de onda correspondientes a los rangos UV-A y UV-B. Por ejemplo, el Nimbus-7 está equipado con el espectrómetro TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) que mide la radiación UV reflejada en la Tierra en seis longitudes de onda comprendidas entre 312 y 380 nm. Este procedimiento permite determinar el grado de concentración de la columna de ozono.

La integración de los resultados obtenidos permitió constatar que en los meses de setiembre y octubre de cada año se produce en la región antártica una vertiginosa caída en la concentración del ozono. Este fenómeno, conocido como "agujero de ozono", está centrado cerca del Polo Sur y comprende toda la Antártida y los mares adyacentes, abarcando una superficie cercana a los 26 millones de km^2.

En 1985, J. Farman, B. Gardiner y J. Shankley publicaron en *Nature* los resultados de más de veinte años de trabajos llevados a cabo en la estación antártica Halley Bay, estableciendo claramente la declinación del ozono y avanzando algunas hipótesis sobre su origen. A éstas, se sumaron otras hipótesis proponiendo explicaciones sobre causas y consecuencias de la extraña anomalía antártica. La situación exigía, obviamente, sólidas investigaciones multidisciplinarias; éstas fueron encaradas por la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial de los EE.UU. (NASA) que, a un costo estimado en más de 16 millones de dólares, coordinó un completo estudio del agujero de ozono, llevado a cabo en la primavera antártica de 1987. Denominado "Experimento Aerotransportado del Ozono Antártico", tuvo su base en Punta Arenas (Chile) y participaron 150 científicos de siete países, incluso de la Argentina.

El experimento comprendió la integración de las mediciones realizadas por el satélite Nimbus-7, las efectuadas simultáneamente en estaciones antárticas y los datos recogidos por dos aviones de la NASA, un DC-8 con instrumental operado por treinta científicos y un ER-2, versión modernizada del avión espía U-2, dotado para realizar doce experimentos a unos 20 km de altura. La NASA ha publicado un atlas (Krueger *et al.*, 1988) con las mediciones diarias del ozono. Se muestra allí que el 5 de octubre de 1987 se registró sobre la vertical de un punto muy próximo al Polo Sur la cantidad de 109 unidades Dobson en la columna de ozono, la más baja hasta la fecha. De esta publicación han sido tomados los datos de la figura 2, que presenta las concentraciones de ozono en el Polo Sur, centro del agujero de ozono, comparándolas con las de su límite más cercano a nuestro continente (base Palmer) y un punto fuera del fenómeno antártico (Punta Arenas).

Los datos de 1987 mostraron que en algunos días de octubre desaparecía cerca del 60% del total de la columna de ozono. Más aún, el ER-2 volando dentro del agujero de ozono realizó una sorprendente observación: entre los 15 y 24 km de altura se destruía el 95% del ozono y ello ocurría en correlación con el aumento de derivados clorados de clorofluorocarburos (CFC). En esos 9 km, dichos derivados aumentaban su concentración hasta 200 veces, al mismo tiempo que el ozono se degradaba hasta quedar sólo el 5% de su concentración original.

El ER-2 comprobó, además, la formación de dímeros de monóxido de cloro $(ClO)_2$. Este compuesto reacciona con UV-B para producir Cl' en ausencia de oxígeno atómico. Se confirmaban así resultados experimentales de M. y L. Molina, quienes habían anticipado este mecanismo.

Los conocimientos alcanzados hasta ese momento resultaban adecuados para explicar la disminución global del ozono (calculada en un 3-4% durante los últimos diez años), pero eran a todas luces insuficientes para que se pudiera entender la brusca destrucción, en pocas semanas, de más de la mitad del ozono antártico. Las reacciones del ciclo clorocatalítico del ozono, lentas, permanentes e interferidas por NO_2 (véase "CFC"), no justifican la importantísima pérdida de O_3 que ocurre allí en septiembre y octubre.

Los científicos encargados de estos estudios dedujeron que debía haber mecanismos exclusivos de la región capaces de circunscribir el ámbito gaseoso antártico, de acelerar varios cientos de veces la velocidad de las reacciones destructoras del ozono y de frenar las de interferencia. En efecto, dos características climatológicas de la Antártida permitieron explicar, finalmente, el pro-

CFC

Foto: Andrés Barragán

Los halocarburos, compuestos de carbono con halógenos (cloro, flúor y bromo), son distribuidos comercialmente con los nombres de "freones" (aquellos con cloro y flúor) o "halones" (los que contienen bromo). Gases atóxicos, químicamente inertes y por ende sumamente estables, su uso se ha popularizado con el nombre genérico de clorofluorocarburos (CFC).

Con formulación ligeramente diferente, se emplean en refrigeración, como propelentes de aerosoles, extinguidores de incendio, en el moldeado de espumas plásticas, etcétera. En los países industrializados del hemisferio Norte se utilizan en promedio anual unos 2,5 kg de CFC por habitante, parte del cual escapa a la atmósfera donde puede permanecer unos cien años. En la Argentina, dicho promedio anual es de sólo 200 g por habitante.

Hacia 1974, dos investigadores de la Universidad de California, Mario Molina y Sherwood Rowland, observaron que la producción anual de CFC alcanzaba una cifra cercana al millón de toneladas anuales y dedujeron que tratándose de compuestos tan estables debía de haber miles de toneladas de ellos en alguna parte. En consulta con expertos en dinámica de la atmósfera concluyeron que los CFC liberados en la Tierra, al igual que cualquier otro gas más liviano que el aire, tenían que ser dispersados por los vientos a toda la atmósfera, independientemente del lugar desde el que partieran. En una marcha lenta pero segura, las corrientes ecuatoriales ascendentes deberían transportarlos a la estratosfera, hacia un inexorable encuentro fotoquímico con la radiación ultravioleta solar más energética.

Los estudios de laboratorio de Molina y Rowland demostraron que los químicamente inalterables CFC son poco estables ante la radiación UV-C, pues se produce una reacción fotoquímica que da lugar a la liberación de átomos de cloro (Cl'). Sobresimplificada, esta reacción puede esquematizarse así:

$$Cl_3CF + h\nu\ (\lambda < 230\ nm) \rightarrow \rightarrow Cl_2CF + Cl' \qquad [I]$$

Los átomos de cloro que se liberan son muy reactivos y muchos de ellos colisionan con átomos de ozono produciendo monóxido de cloro (ClO) y oxígeno molecular:

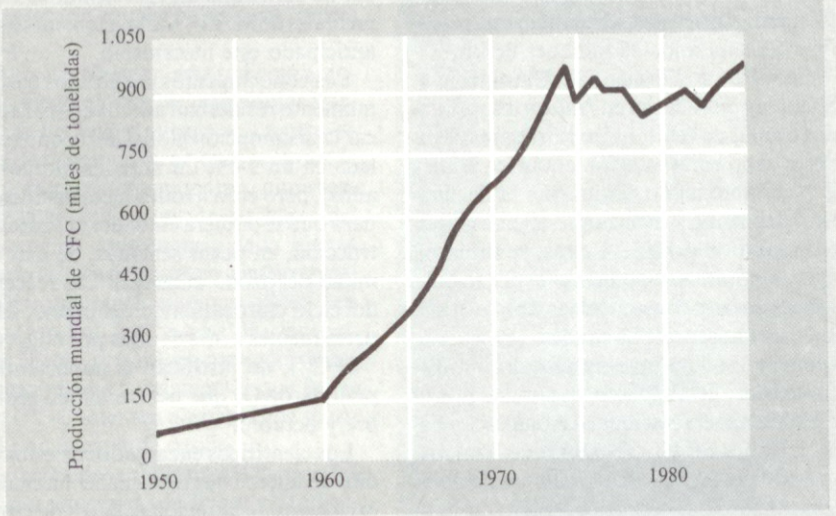
$$Cl' + O_3 \rightarrow ClO + O_2 \qquad [II]$$

Pero allí no termina todo. El monóxido de cloro puede reaccionar con átomos de oxígeno producidos en la reacción [1] del texto principal, y se regenera así el cloro atómico:

$$ClO + O' \rightarrow O_2 + Cl' \qquad [III]$$

Los átomos de cloro liberados cierran el llamado "ciclo cloro catalítico del ozono". Se estima que un solo átomo de cloro liberado de un CFC puede dar origen a una reacción en cadena que destruya 100.000 moléculas de ozono.

Sin embargo, este ciclo catalítico puede ser bloqueado por dióxido de nitrógeno (NO_2), uno más de los tantos gases atmosféricos. El NO_2 puede "secuestrar" monóxido de cloro producido en la reacción [II], mediante una reac-



Hasta mediados de la década del 60 los CFC se utilizaban confinados en refrigeradores. Una década más tarde, nuevos usos (con grandes escapes al medio ambiente) elevaron su producción a casi un millón de toneladas anuales, una cantidad cinco veces mayor que la capacidad atmosférica para eliminarlos. Poco después se produjo el agujero de ozono.

ción química en la que se forma nitrato de cloro ($ClNO_3$):

$$NO_2 + ClO \rightarrow ClNO_3 \qquad [IV]$$

Esta combinación es conocida como "reacción de interferencia", ya que bloquea la degradación del ozono producida por derivados de CFC.

Poco después de que Molina y Rowland advirtieran sobre los riesgos de las excesivas emisiones de CFC, las Naciones Unidas decidieron analizar el deterioro del ozono. Prolongados estudios y tratativas concluyeron en 1987 con el acuerdo denominado "Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono". Las naciones firmantes se obligan a disminuir gradualmente la utilización de CFC con la intención de alcanzar en 1999 una reducción del 50% respecto del uso de 1988. Se prohíbe, además, el aumento de su producción, excepto en países en vías de desarrollo.

En 1990, la Argentina ratificó el Protocolo de Montreal y el Congreso lo convirtió en ley; se sumaba así a EE.UU. y países de la Comunidad Económica Europea, productores del 85% de los CFC que se consumen en el mundo.

Pero los objetivos básicos del Protocolo de Montreal han sido ya superados por nuevos datos. Se ha establecido que solamente para mantener los niveles de CFC alcanzados en 1990, sería necesaria la inmediata reducción del consumo en un 85%, en vez de la proyectada para 1999.

El Protocolo prevé la renegociación de sus términos, y es posible que esto sea encarado en breve. Sin embargo, las tratativas serán dificultosas por los intereses de algunas naciones asiáticas. Allí se suman países productores de componentes electrónicos, que usan masivamente CFC en aerosoles como antiestáticos, limpiadores, etc., y países superpoblados que hace poco iniciaron planes de fabricación de millones de refrigeradores para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La solución podría consistir en el reemplazo de los CFC por otros compuestos con menores efectos sobre el ozono. Estos ya han sido desarrollados, pero dos razones demoran su incorporación al mercado: los estudios sobre estabilidad química y riesgos biológicos son aún incompletos, y su costo es mucho más elevado que el de los CFC.

ceso que tantos desvelos había provocado:

(1) La dinámica atmosférica antártica origina corrientes de aire huracanadas y circulares, que encierran la masa gaseosa donde se degrada el ozono.

(2) En la Antártida se producen las temperaturas más bajas del planeta y éste, como veremos, es un hecho de consecuencias importantes en relación con el fenómeno considerado.

Con estas claves, el hasta entonces inabordable "modelo para armar" pudo ser finalmente ensamblado, y los investigadores lograron ofrecer una explicación coherente de los mecanismos que llevan a la formación del agujero de ozono antártico.

Todo empieza con el advenimiento de la noche polar. La ausencia de radiación solar enfría la atmósfera, y esto da origen a un fenómeno ciclónico estratosférico, con vientos que giran a gran velocidad sobre el casquete antártico, entre los ocho y los cincuenta kilómetros de altura.

Se forma así un "cinturón ciclónico" cuyas ráfagas alcanzan, al comienzo de la primavera, los 400 km por hora. Bautizado *vórtice polar*, este cinturón puede ser imaginado como la pared de un gigantesco recipiente de unos 5.000 km de diámetro que impide el intercambio gaseoso con el exterior (véase la figura 3).

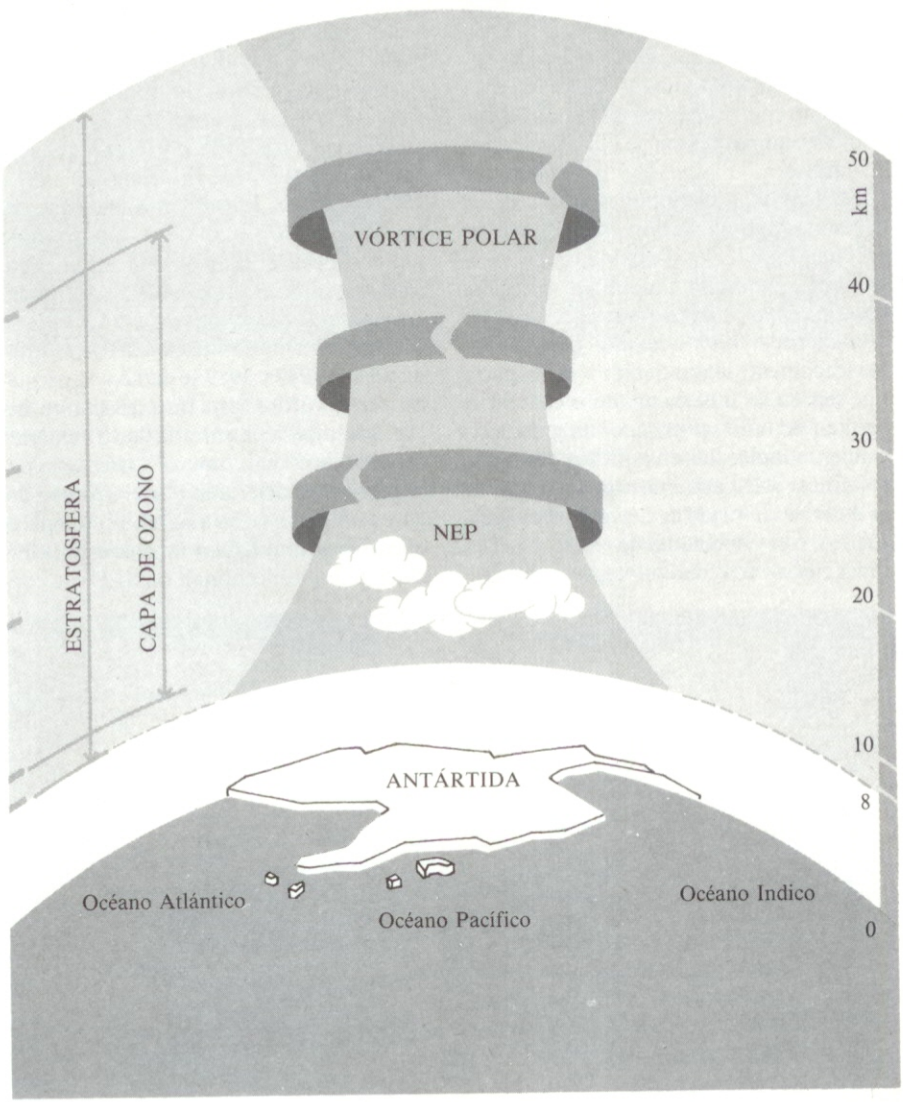


Fig. 3. La atmósfera sobre la región antártica durante la vigencia del vórtice polar. Las peculiaridades climáticas de esta región han permitido explicar la vertiginosa caída de la concentración del ozono atmosférico que se produce allí entre los meses de setiembre y octubre. Este fenómeno, conocido como "agujero de ozono", está centrado en el Polo Sur, abarca una superficie de aproximadamente 26 millones de kilómetros cuadrados y, por su magnitud, es único en el mundo. (Modificada de J. Cacho y M. Sáinz de Aja, *Antártida. El agujero de ozono*.)

En la noche polar, dentro del vórtice cesan las reacciones fotoquímicas, pero no las químicas. Por ejemplo, los compuestos clorados reaccionan entre sí, dando lugar a la formación de moléculas más estables que se "depositan" en repositorios inactivos. El cloro se "almacena" como cloro molecular (Cl_2), inerte en la oscuridad, pero con una vida media de una hora luego de la llegada de la luz solar.

Al término de la noche polar, el hasta entonces inactivo Cl_2 se escinde ante la incidencia de radiación UV produciendo cloro atómico, que es muy reactivo. Da comienzo así el ciclo destructor del ozono en la estratosfera, descripto en el recuadro "CFC".

A todo esto se agrega un fenómeno más. Dentro del vórtice, la temperatura desciende hasta tal punto que llega al registro más bajo del entorno terrestre (80-90°C bajo cero), circunstancia que provoca la formación de nubes estratosféricas polares (NEP). Éstas se forman por condensación de los gases atmosféricos a unos 15-20 km de altura, justamente donde será más intensa la interacción química causante de la destrucción del ozono.

En general, las reacciones químicas son el resultado de la colisión de los compuestos reaccionantes y su velocidad depende de la frecuencia de los encuentros moleculares. En el campo de la química de sistemas homogéneos, las reacciones gas-gas son marcadamente lentas debido a la distancia que separa las moléculas. Pero cuando se forman las NEP, se produce un gran acercamiento molecular en aquellos gases que solidifican. Se pasa entonces al campo de la química de sistemas heterogéneos (gas-sólido), con velocidades de reacción aceleradas cientos de veces con respecto a las que tienen lugar entre gases. Cuando esto se cumple dentro del vórtice, la degradación del ozono resulta vertiginosa.

¿Qué pasa, entre tanto, con las reacciones de interferencia capaces de atenuar, según puede verse en "CFC", el proceso de destrucción del ozono? Sucede que en la noche polar, el NO_2 interactúa con otras moléculas para formar "depósitos" inertes de ácido nítrico, el cual cristaliza en las primeras NEP. Ante un mayor descenso de la temperatura, el tamaño de los cristales crece hasta unos diez micrones, y por efecto gravitacional, el ácido nítrico precipita a capas inferiores de la atmósfera, donde es dispersado y neutralizado. De esta manera desaparece la posibilidad del NO_2 de interferir en el ciclo clorocatalítico del ozono.

El modo en que ha evolucionado a partir de 1978 el agujero de ozono antártico revela, con algunas fluctuaciones, una tendencia hacia la declinación de la columna de ozono.

Como puede observarse en la figura 4, durante 1988 la degradación de esta columna llegó apenas al 15%, porcentaje que contrasta con las cifras registradas en 1987 y 1989. Éstas son, a la vez, muy parecidas entre sí e indican que en ciertos días se anotó una declinación del 55-60%. Conviene considerar, entonces, las causas de las diferencias anotadas en estos tres años.

La importante declinación del ozono producida en 1987 y 1989 se debió a la permanencia del vórtice hasta fines de octubre, hecho que impidió la entrada de aire exterior cargado de ozono "nuevo", necesario para reponer el destruido por el proceso de clorocatálisis. Por otra parte, las temperaturas fueron muy bajas y favorecieron la formación de gran cantidad de NEP y la con-

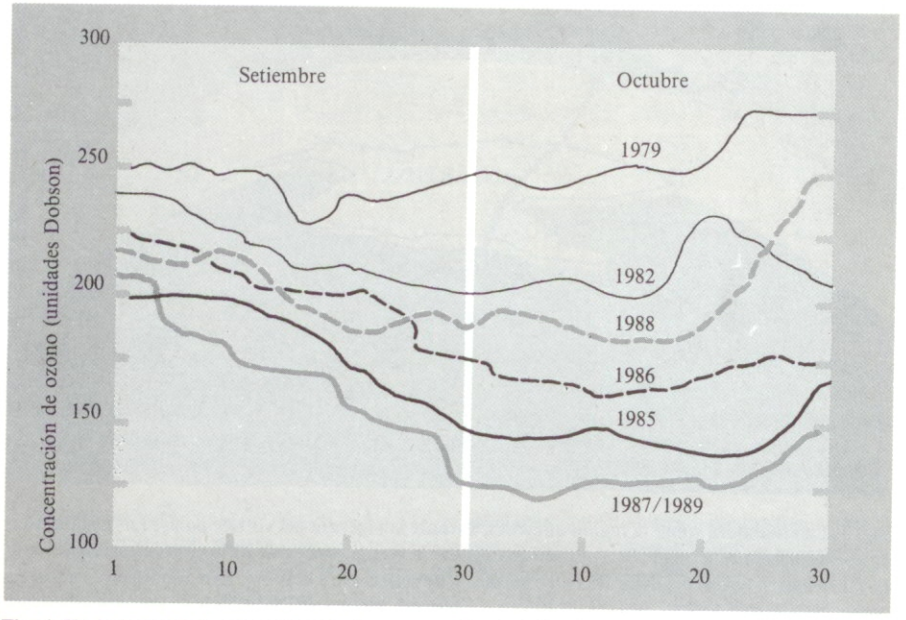


Fig. 4. Variaciones de la concentración de ozono en la atmósfera antártica al sur del paralelo 30° S, durante los meses de setiembre y octubre en diferentes años.

Muchos millones de dólares se habían invertido ya en el análisis del agujero de ozono antártico sin que se prestara similar atención a la posible mayor incidencia de radiación UV sobre la corteza terrestre que se podría derivar del fenómeno, ni a sus consecuencias biológicas. Finalmente, en junio de 1988, la División Programas Polares de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) de los EE.UU. realizó en Washington D.C. un taller de trabajo al que asistimos invitados dos argentinos y un chileno, representantes de los países más cercanos al fenómeno antártico. En la reunión se revisaron los principales conocimientos fotobiológicos, y los organizadores presentaron los lineamientos de un proyecto de control permanente de la radiación solar en la región.

Para tal fin se construyó un nuevo tipo de espectro-radiómetro especialmente diseñado para operar en las más rigurosas condiciones climáticas. Tres de ellos fueron instalados en estaciones polares antárticas de EE.UU.: Amundsen-Scott (en el Polo Sur), McMurdo y Palmer.

Por un convenio de la NSF con nuestro Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), se acordó la instalación, en Ushuaia, de un cuarto espectro-radiómetro, idéntico a los polares. La operación de este instrumento en la ciudad más austral del mundo, por ende la más cercana al agujero de ozono, resultaba beneficiosa para ambas partes: la NSF contaría con un control de los datos antárticos, fuera del agujero de ozono pero muy cerca de él, y la Argentina podría contar con una vigilancia permanente de la fluencia de radiación UV que incidiera sobre la superficie más austral de su territorio con población estable.

En mayo de 1990, C. Rockwell Booth, a cargo del programa instrumental de la NSF, presentó los resultados preliminares de las mediciones efectuadas sobre Ushuaia en 1989. Estos datos pueden combinarse con las medidas de la concentración de ozono realizadas por el satélite de la NASA (Nimbus-7). Éstas indicaron que en los días comprendidos entre el 15 y el 17 de octubre y entre el 2 y el 5 de noviembre se produjeron sobre

INVESTIGACIONES EN USHUAIA
miniagujeros de ozono y estudios fotobiológicos

aquella ciudad dos "miniagujeros" de ozono (se denomina así a las declinaciones en la concentración de ozono del orden del 15%, por lapsos no mayores de 2-3 días).

Durante la vigencia de tales miniagujeros sobre Ushuaia, las lecturas del radiómetro mostraron importantes aumentos relativos de la irradiancia UV: el espectro UV-B total aumentó en un promedio cercano al 50% y en la angosta banda comprendida entre los 293 y los 303 nm se observaron incrementos fluctuantes de entre el 250 y el 1000%.

Esta situación exigía responder por lo menos dos preguntas fundamentales: la primera, si el flujo de radiación que llega a través de los miniagujeros resulta ser siempre mayor que el que llega durante las épocas normales; la segunda, cuáles son los efectos comprobados en los seres vivos como consecuencia de haber recibido una dosis de radiación UV-B mayor que la habitual para esa época del año.

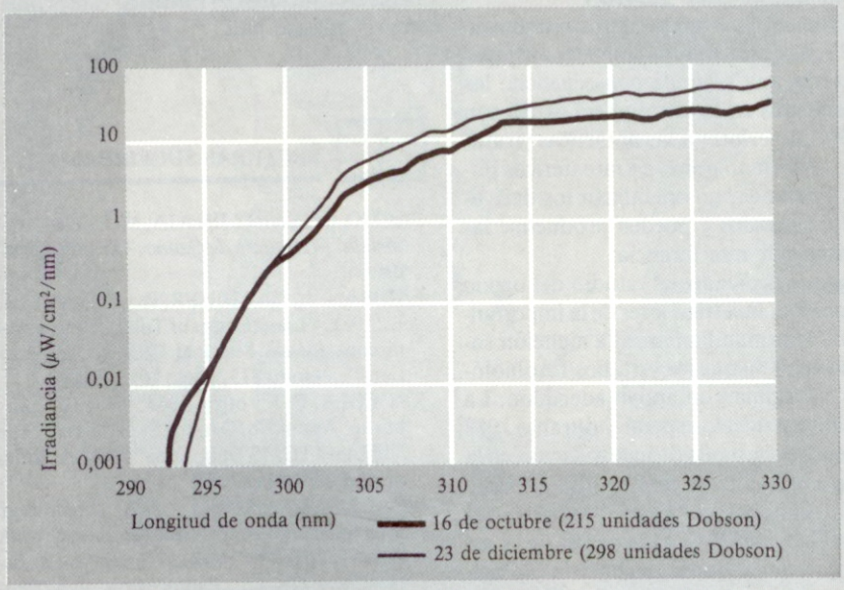
La respuesta al primer interrogante ha quedado registrada en la figura, donde puede verse que organismos expuestos al Sol en Ushuaia recibieron más radiación UV-B el 23 de diciembre, con ozono normal, que el 16 de octubre, con ozono en su mínima expresión. Esto se debe a que la intensidad de la radiación UV-B depende del ángulo cenital solar. Como este ángulo es menor a fines de diciembre, el espesor de la capa de ozono que debe cruzar la radiación es menor que a mediados de octubre.

Foto: J. Cacho

La segunda pregunta no tiene aún respuesta, ya que ésta deberá surgir de un intenso trabajo de investigación. Con tal objetivo, nuestro laboratorio está llevando a cabo un programa de investigación en cooperación con científicos del Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), instituto del CONICET localizado en Ushuaia.

Este programa cuenta con el apoyo de la CNEA y del CONICET y consiste en evaluar la acción de la radiación UV solar sobre bioorganismos integrantes del plancton subantártico-fueguino, cuya disminución podría afectar a organismos más evolucionados de la cadena trófica.

En una primera fase de nuestro trabajo hemos efectuado la caracterización bioquímica y fotobiológica de especies representativas del bacterioplancton obtenidas en áreas próximas a Ushuaia (Canal Beagle, Río Lapataia y tres lagos). En el futuro, extenderemos los estudios a distintos tipos de algas y en lo posible a huevos y larvas. Para este último propósito, el proyecto cuenta con la participación de N. San Román, científico del CADIC que investiga la biología de peces regionales utilizando procedimientos desarrollados en su laboratorio.



Distribución de la irradiancia según la longitud de onda sobre Ushuaia, a las 12 hs de los días 16 de octubre y 23 de diciembre de 1989.

secuente precipitación de ácido nítrico, por lo que se vio limitada la cantidad de NO_2. En 1988 sucedió todo lo contrario. El vórtice comenzó a desintegrarse en septiembre, permitiendo la filtración de ozono del norte, y como las temperaturas no fueron tan bajas, sólo ocasionalmente se formaron nubes estratosféricas. La precipitación de los compuestos nitrogenados fue, en consecuencia, casi nula y por lo tanto persistió una alta concentración de NO_2 dentro del vórtice, apto para interferir el proceso de destrucción del ozono.

El agujero de ozono antártico se encuentra sobre un área casi circular, cuyo radio abarca unos 25° de latitud. La Antártida puede llegar a albergar unas cinco mil personas, habitantes ocasionales de las numerosas estaciones polares que no sólo se renuevan constantemente, sino que, además, mientras permanecen allí, no están mucho tiempo al aire libre.

Si ocurriera un fenómeno similar en el hemisferio norte, englobaría a Estocolmo, Oslo, Helsinki, Leningrado, los territorios al norte de esas ciudades, Islandia, Groenlandia, Alaska, el norte de Canadá y de Asia. En otras palabras, un agujero de ozono ártico de similar extensión que el antártico afectaría a millones de personas, animales, cultivos y bosques.

Obviamente se necesitaban respuestas para la gran pregunta: ¿se produce en la región ártica una destrucción del ozono similar a la que manifiesta la región antártica?

Con la intención de responder a incógnita de tal magnitud, la NASA desplazó todo su potencial al norte de Europa y, con base en Stavanger (Noruega), realizó un experimento similar al de 1987 en la región antártica. Cargados de instrumental, sus dos aviones realizaron en febrero de 1989 catorce vuelos cada uno. En varios de ellos, el ER-2 detectó significativos incrementos de cloro atómico, situación que fue calificada como "smoking gun", ya que un revólver humeante sugiere una posible víctima: el ozono.

Sin embargo, tal presunción no se cumplió pues las máximas declinaciones de ozono medidas apenas sobrepasaron el 5%. Estudios similares fueron encarados a principios de 1990, con resultados que confirmaron los anteriores. Excepcionalmente y por muy breves lapsos, se detectaron pérdidas de ozono hasta dos veces mayores que la de 1989.

Las diferencias existentes entre la topografía y la climatología de las regiones ártica y antártica encierran la explicación de un comportamiento tan divergente. Mientras que el vórtice antártico gira sin obstáculos sobre la superficie lisa de las mayores extensiones de agua de la Tierra, el vórtice del Polo Norte debe hacerlo sobre importantes cadenas montañosas del norte de América, Europa y Asia. Como consecuencia del roce de los vientos sobre estos obstáculos montañosos se forman ondas calóricas que se disipan en la estratosfera, desestabilizando el vórtice. Éste se aleja del Polo Norte geográfico y se desintegra, aun cuando días más tarde vuelva a formarse para desaparecer nuevamente en poco tiempo.

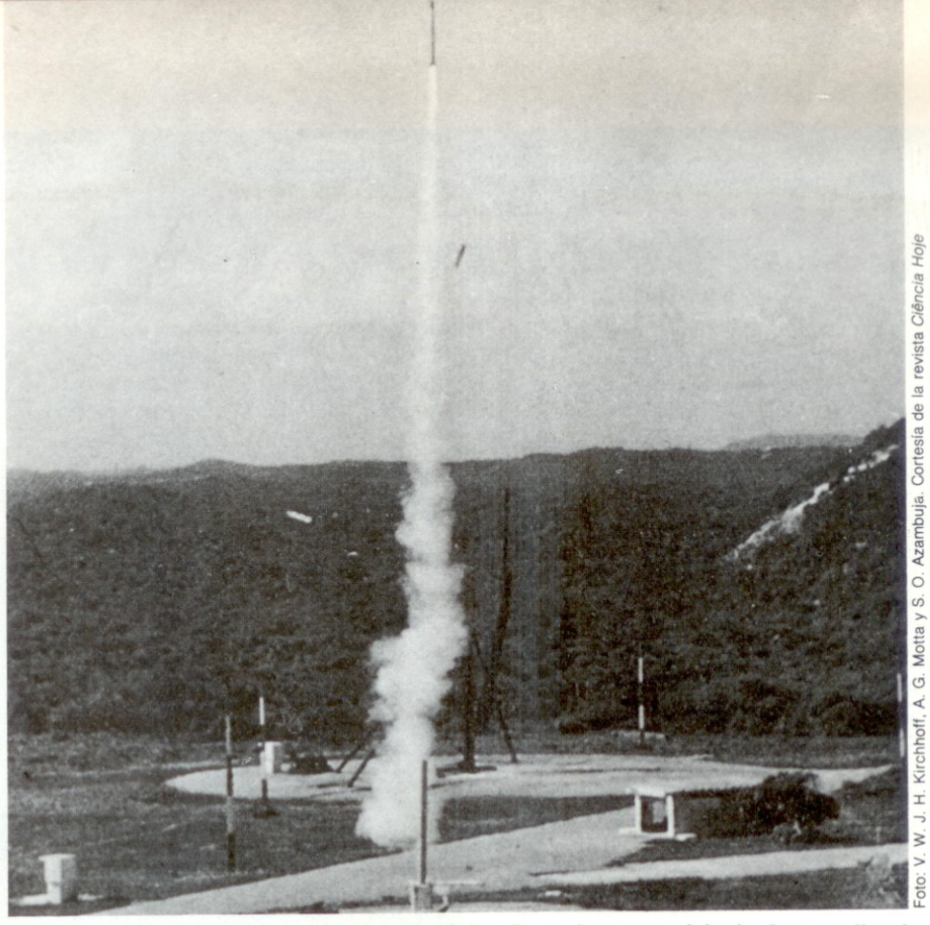


Foto: V. W. J. H. Kirchhoff, A. G. Motta y S. O. Azambuja. Cortesía de la revista *Ciência Hoje*

Lanzamiento de un cohete Super-Loki en Natal, Brasil, con instrumental destinado a estudiar el comportamiento del ozono atmosférico.

El aumento de temperatura provocado por el roce de los vientos con tales obstáculos aporta una segunda consecuencia: las temperaturas en la estratosfera ártica son 10-15°C superiores a las antárticas y raramente se forman nubes estratosféricas polares. Por ende, no cristalizan los derivados nitrogenados y pueden producirse las reacciones de interferencia.

Aunque dedicados al estudio del ozono atmosférico, investigadores de la importancia de J. Farman llamaron la atención sobre el hecho de que los estudios fotobiológicos no recibían un apoyo adecuado. La reacción no se hizo esperar y durante 1988 se iniciaron trabajos de investigación en la región continental argentina más próxima al fenómeno antártico (véase "Investigaciones en Ushuaia"). Pero es necesario, y así lo propiciamos, que la dosimetría biológica sea complementada con una radiometría física de la radiación UV-B. Ello puede lograrse con el establecimiento de una red nacional de radiómetros que registren permanentemente la intensidad de la radiación UV solar en diversos puntos de la Argentina.

La integración de los resultados de tales proyectos, sumada a las mediciones de ozono atmosférico realizadas por el Servicio Meteorológico Nacional y a la estadística de efectos sobre la salud humana que pueden atribuirse a la radiación UV solar, configurarían un panorama completo acerca del presente e incluso del futuro de este problema en nuestro país. ⊙

LECTURAS SUGERIDAS

CACHO, J. y SÁINZ DE AJA, M.J., 1989, *Antártida. El Agujero de Ozono*, Tabapress, Madrid.

FARMAN, J., GARDINER, B. y SHANKLIN, B., 1985, "Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO_x/NO Interactions", *Nature* 315, págs. 207-210.

KRUEGER, E. J. y otros, 1988, "The 1987 Airborne Antarctic Ozone Experiment. The Nimbus-7 TOMS Data Atlas", NASA, Reference Publication 1201.

PIZARRO, R. y ORCE, L., 1988, "Membrane Damage and Recovery Associated with Growth Delay Induced by Near-UV Radiation in *Escherichia coli* K-12", *Photochemistry and Photobiology* 47, págs. 391-397.

STOLARSKI, R., 1988, "El agujero de ozono en la Antártida", *Investigación y Ciencia* 138, págs. 12-18.

Los ángeles militares son seres alados, de aspecto andrógino, vestidos a la usanza de los soldados de la época y con armas, escudos, cascos o instrumentos de música marcial, es decir, diversos símbolos de su condición guerrera. La denominación ángeles militares, en lugar de la más frecuente de ángeles arcabuceros, obedece a que no todos portan armas —aunque sí otros implementos militares—, y aquellas armas que exhiben no necesariamente son arcabuces; por esta razón, una publicación en inglés usó la expresión *Angels with guns*. Sea como fuere, constituyen una creación original de la pintura que floreció en la región que va del Cuzco a Potosí. Su iconografía y nomenclatura, que se inscriben en antiguas enseñanzas sobre las milicias celestiales, se remontan a lejanas tradiciones judeocristianas, particularmente a la literatura talmúdica y a diversas obras consideradas por la Iglesia como no canónicas o apócrifas relacionadas con el Nuevo Testamento. De un tratado de raíces neoplatónicas escrito hacia el año 500, que lleva por título *De la jerarquía celeste* —atribuido primero a Dionisio Aeropagita, discípulo de San Pablo, y luego considerado de un autor anónimo al que se ha terminado llamando el Pseudo Dionisio—, provienen las denominaciones de las distintas categorías angélicas, por ejemplo serafines y querubines, ángeles y arcángeles. Y de escritos cabalísticos como el *Libro de Raziel*, o apócrifos cristianos como *Enoch*, el *Evangelio de Bartolomé* o el *Apocalipsis de Pedro*, derivan los nombres hebreos que los anónimos pintores del altiplano peruano boliviano, indios o mestizos, estamparon al pie de sus fantásticas imágenes: Eliel, Hosiel, Salamiel, Uriel, Yeriel, Baraciel, Hadriel, junto con los tres aceptados por la jerarquía eclesiástica luego de los Concilios del siglo VIII: Miguel, Rafael y Gabriel. Así, por singular paradoja, las iglesias coloniales estaban pobladas de seres angélicos no reconocidos por la Iglesia.

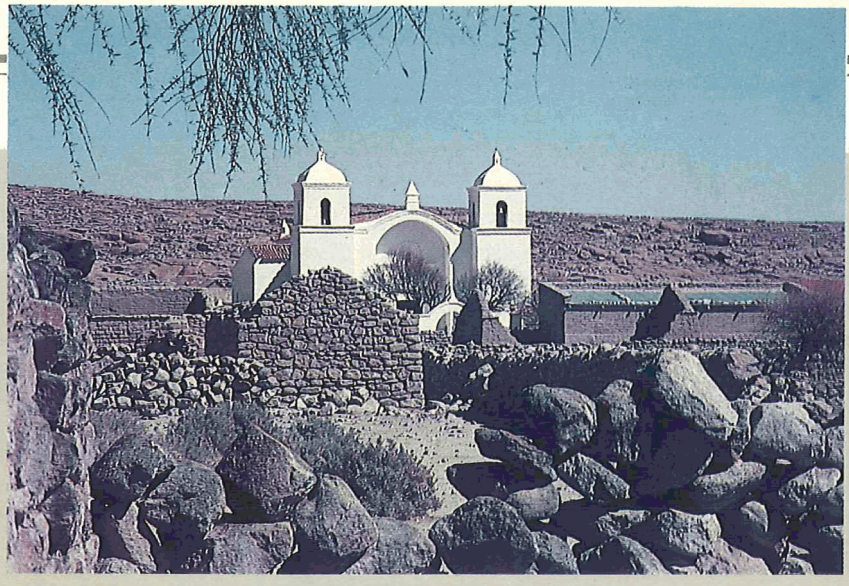
Para la imaginación de los nativos, estas escuadras o marchas de ángeles, como las denominaban en la época, combinaban rasgos de las mitologías y divinidades indígenas con las enseñanzas de los catecismos cristianos y con los símbolos del poder superior del europeo: las armas, los uniformes y las trompetas. Eran seres que podían dominar, pero también proteger a los conversos a la nueva fe.

"Angel Rafael", escuela cuzqueña (?), último tercio del siglo XVII, autor anónimo, 165 cm por 105 cm. Antes y después de su restauración. El cuadro se encuentra en la capilla de Uquía, Jujuy.

La segunda cuestión que resulta oportuno considerar en esta nota es el tipo de trabajo que se realiza en un taller de restauración de arte. No es un trabajo de creación artística, pero supone una comprensión profunda de las obras, de los estilos y de las épocas; no consiste en la aplicación de técnicas preestablecidas, pero reposa en una compleja base tecnológica; no se trata de una mera habilidad manual, pero requiere de una rara destreza en los dedos. Mezcla sutil y bien dosificada de intuición artística, rigor analítico y artesanía, la del restaurador es, además, labor anónima, por cuanto apunta a develar la personalidad del autor del cuadro y a ocultar la propia. Igual que un falsificador, un restaurador será tanto más exitoso cuanto más inadvertida resulte su presencia, tanto más meritorio cuanto más ocultos queden sus méritos.

Hay un curioso paralelismo, pues, entre la anónima creación de las pinturas coloniales y su anónima restauración. Porque, aunque a veces sepamos los nombres de unos y otros, ni pintores ni restauradores trabajaron para dejar testimonio de sí sino para poner de manifiesto algo exterior a ellos mismos: los valores colectivos de la sociedad en que vivieron, los pintores coloniales; las visiones de los artistas artesanos de épocas pretéritas, cuyas imágenes traen nuevamente a la vida, los restauradores. Al anonimato de unos se suma el anonimato de los otros.

La base tecnológica de la restauración ayuda a establecer un diagnóstico de la obra antes de comenzar el trabajo sobre ella, así como a definir los procedimientos más adecuados para llevar a cabo las diversas etapas de dicho trabajo. En términos técnicos, un cuadro se compone de: (a) un soporte que conforma la estructura de apoyo de la obra: la mayoría de los cuadros coloniales están pintados sobre telas de lino, algodón o (menos frecuentemente) lana, tensadas en bastidores de madera, pero existen igualmente pinturas sobre soportes de madera u otros materiales; (b) una capa de preparación, es decir, un recubrimiento del soporte con materiales tales como yeso, tiza, tierras varias, cenizas y otros, aglutinados con colas; (c) la capa pictórica, formada por pigmentos de diversos orígenes (mineral, vegetal o animal, en la época colonial, a los que hoy se suman las sustancias sintéticas), ligados por aglutinantes del tipo del aceite de linaza o de nuez, resinas naturales, etcétera, y (d) un barniz protector, no siempre presente en las obras que nos ocu-



Vista de la iglesia de Casabindo, en la puna jujeña. De allí provienen (y a ella volverán) los ángeles militares que actualmente se restauran. Uno, terminado, se reproduce en la página siguiente.

Salvando alas y halos

Treinta obras coloniales de importancia, restauradas por TAREA, se exhibieron en septiembre de 1989 en el Museo Nacional de Bellas Artes, para que pudieran ser apreciadas por el público de Buenos Aires antes de que emprendieran el regreso a sus lugares de procedencia. La mayor parte de las telas fueron traídas del altiplano jujeño. Se presentaron reunidas bajo el sugestivo título de *Salvando alas y halos*. Entre ellas se destacaron la serie de ángeles militares que pertenece a la capilla de Uquía y las obras firmadas por Mateo Pisarro (o a él atribuidas por razones estilísticas). Pisarro fue un artista de fines del siglo XVII de quien casi nada se sabe, excepto que pintó un conjunto de cuadros de buena calidad que se encuentran diseminados en iglesias y capillas de diversos pueblos: Yaví, Casabindo y Cochinoca, en el altiplano jujeño; Uquía, en la quebrada de Humahuaca, y San Salvador de Jujuy, cuya catedral conserva uno de ellos.

Estas pinturas pertenecen a la escuela artística (¿o escuelas artísticas?) que floreció principalmente en los siglos XVII y XVIII entre el Cuzco y el norte de la República Argentina y tuvo por centros de máximo esplendor, además de la mencionada ciudad del Cuzco, las costas del lago Titicaca y Potosí. Por esto suele hablarse de pintura cuzqueña, del Collao, altoperuana, potosina, etcétera. Si bien no toda la pintura colonial que se conserva en nuestro país proviene de esta región, una parte importante se originó en ella, sobre todo la que se encuentra en el noroeste, pues ambas zonas estaban estrechamente vinculadas por razones demográficas, políticas y económicas.

Es oportuno mencionar, entre las obras expuestas en la comentada muestra, una que se conserva en el museo del Cabildo de Salta, que representa a San Pedro de Alcántara, debida a Melchor Pérez Holguín, quien vivió de 1660 a 1732 y trabajó en Potosí; también a los cuatro Evangelistas de la iglesia de Rinconada, muy probablemente pintados por colaboradores o discípulos de Pérez Holguín.

Los cuadros de la puna jujeña pueden verse aún en un ambiente natural y social que, a pesar de las modificaciones sufridas, recuerda bastante al de los tiempos coloniales y poco se parece al del resto del territorio argentino, en particular a la llanura pampeana en la que vive gran parte de la población del país. La altura (en promedio, superior a los 3.500 m sobre el nivel del mar), la aridez y los rigores climáticos son sus rasgos naturales más destacados. Lo caracteriza, también, una tradición cultural que persiste en las costumbres de su población mestiza, en la cría de llamas, en los pueblos de adobe —muchos prácticamente deshabitados— de nombres como Casabindo, Cochinoca, Rinconada, Susques, Coranzulí o Yaví, y en antiguas iglesias o capillas que guardan en su interior sorprendentes retablos dorados y pinturas deterioradas por el paso de los años, algunas de las cuales, ahora, restaura TAREA.

"Angel militar", escuela cuzqueña (?), último tercio del siglo XVII, autor anónimo, 108 cm por 67 cm. Antes y después de su restauración. Cuadro de la iglesia de Casabindo, Jujuy.

pan, formado por una resina o aceite extendido con la ayuda de un solvente volátil.

Las partes en que se puede subdividir un trabajo de restauración, que constituyen problemas conceptuales y técnicos distintos, y también especialidades diferentes de los restauradores, son: (a) la restauración de los soportes, que en el caso de los cuadros que han llegado a TAREA casi siempre se realizó mediante el entelado (o reentelado), consistente en adherir una nueva tela al reverso de la original; (b) la limpieza de la capa pictórica para quitar la suciedad y sustancias extrañas acumuladas a lo largo del tiempo en el anverso del cuadro, lo mismo que —parcial o totalmente— antiguos barnices oxidados por los años, que a veces confieren a la obra una determinada pátina cuya remoción es motivo de inacabables discusiones, y (c) la restitución de los faltantes de la capa pictórica, operación también llamada reintegración de la imagen o simplemente retoque, la cual tiene por objeto evitar que el cuadro se vuelva incomprensible o ingrato a la vista por obra de los deterioros: igual que en el caso de la limpieza, el retoque es una operación polémica, ya que se puede realizar de muchas maneras, desde el extremo ilusionista que busca hacer desaparecer el deterioro para el espectador, hasta la fórmula que preconiza dejarlo francamente visible, pasando por las soluciones más frecuentes, que permiten advertir la reintegración sólo mediante un examen atento y a corta distancia.

La tecnología de la restauración abarca diversos campos. Uno de ellos es el de los materiales que se emplean para tratar las obras, tanto los que tienen una función provisoria como los que quedan incorporados, más o menos profundamente, una vez terminados los trabajos. Es preciso que los últimos cumplan dos condiciones: mantener inalteradas sus propiedades a pesar del transcurso del tiempo y permitir la reversión del proceso, es decir, poder ser quitados sin que la obra resulte dañada. Entre esta clase de materiales se cuentan adhesivos, barnices y pigmentos, mientras que son de uso provisorio solventes orgánicos, geles con enzimas, jabones y sustancias de moldeo.

La observación de un cuadro —y la toma de fotografías— con rayos X, infrarrojos o ultravioletas se emplea, entre otras cosas, para determinar si por debajo de la imagen visible a simple vista existe otra, la cual casi seguramente (aunque no siempre es así) se debe conservar, mientras que la segunda fue pintada encima en fecha posterior. Estas técnicas también aportan valiosa información sobre deterioros invisibles en los estratos descriptos que componen la estructura de un cuadro, y sobre restauraciones anteriores. Los rayos X y los infrarrojos pueden ser de utilidad para conocer la manera de pintar de cada artista y, consecuentemente, decisivos para distinguir piezas originales de falsificaciones.

El análisis químico de barnices y aglutinantes —que suelen ser de naturaleza química semejante, si bien los primeros consti-

La ciencia y la conservación de la pintura de caballete

La obra de arte es materia antes de ser mensaje. Una pintura es el fruto de innumerables combinaciones de un número limitado de materiales orgánicos e inorgánicos con características físicas y químicas propias. Es una estructura estratigráfica formada por pigmentos o colorantes ligados por vehículos capaces de formar películas, con el añadido de agentes secantes y surfactantes.

Desde el momento mismo en que nace, la obra de arte comienza a envejecer. La dura acción del medio y el paso del tiempo producen alteraciones y deterioros que atentan contra la permanencia de los objetos artísticos. Sólo esfuerzos deliberados por conservar y restaurar las obras pueden lograr que la información que brindan no se pierda irremediablemente. Dicha información incluye no sólo el valor estético que les imprimió su autor sino también el histórico, por ser documentos que expresan la técnica, los materiales y las costumbres de una época y testimonios del lugar y de la civilización que les dio origen.

Como paso previo a una restauración, se debe efectuar un diagnóstico del mal que aqueja a la obra. Años atrás, sólo el poder del ojo, y en algunos casos de la óptica, ayudaban a realizarlo. En nuestros días, los métodos científicos tienen un cometido y una importancia fundamentales para el conocimiento y la conservación de los objetos de arte, ya que permiten aumentar el campo de nuestras percepciones. Las ciencias físicas y químicas ayudan a tomar conciencia del estado de las obras de arte, a conocer la organización de su estructura interna, a seguir la progresión de sus alteraciones y a guiar el trabajo de los restauradores.

La nueva instrumentación analítica se vale de equipos de muy alta sensibilidad, con límites tan bajos de detección que, en la práctica, determinadas técnicas pueden considerarse no destructivas. Esta condición —o, en su defecto, poder proveer resultados confiables a partir de muestras de muy pequeño tamaño, menor que la cabeza de un alfiler—, es *sine qua non*, dado que el material a tratar es único. Las técnicas modernas cumplen con tal requisito y proporcionan datos y mediciones seguros; que el científico evalúa y transmite al restaurador.

Melchor Pérez Holguín (Cochabamba, *ca.* 1660 - Potosí, 1732), "San Pedro de Alcántara" (fragmento), 152 cm por 105 cm. La restauración permitió descubrir la firma del pintor. Pertenece al museo del Cabildo, Salta.

El poder de las ondas electromagnéticas penetra la materia de la obra de arte: la fotografía con luz visible muestra el estado de la capa expuesta de una pintura, la luz ultravioleta informa sobre las características más externas de su superficie y la infrarroja y los rayos X permiten tener un acceso no destructivo a capas subyacentes, invisibles. Se obtiene así información escondida, se descubren las etapas de la creación, las vacilaciones del artista, las sucesivas intervenciones del hombre y los efectos del tiempo.

Los métodos analíticos permiten estudiar la estratigrafía del cuadro y la estructura de los materiales que lo componen. Comprenden técnicas microquímicas y físicas, como la microscopía y la microsonda electrónicas, mediante las cuales se hacen patentes las características técnicas de la pintura: el número de capas, su color, su orden de sucesión, los pigmentos que las componen, la homogeneidad de la dispersión, la naturaleza del ligante. El estudio de los pigmentos puede encararse con el instrumental utilizado para analizar trazas inorgánicas: espectroscopía de absorción atómica, difracción y fluorescencia de rayos X. El estudio de las complejas mezclas de ligantes y barnices de origen natural o sintético pertenece al dominio de la química orgánica. Las cromatografías, en fase gaseosa y líquida de alta resolución, acopladas a la espectrometría de masa, y las espectroscopías, infrarroja y ultravioleta, ayudan a elucidar la estructura de las moléculas orgánicas, determinada por las uniones de átomos de carbono y heteroátomos.

La producción de imágenes por computación es de gran importancia para realizar este tipo de análisis. Entre las técnicas que traducen resultados numéricos en imágenes se cuentan la microscopía electrónica de barrido, la microsonda electrónica, la espectrometría de iones secundarios y ciertos métodos frecuentes en la investigación biológica, como la tomografía computada y la resonancia magnética nuclear. La imagen está más cerca de la experiencia cotidiana de restauradores, historiadores y curadores que un valor numérico, y facilita su trabajo interdisciplinario con los científicos.

La mayoría de las técnicas citadas requieren equipos de alta complejidad y utilizan métodos muy elaborados. Como consecuencia de su alto costo, el instrumental necesario sólo suele encontrarse en institutos, universidades y laboratorios especializados, donde es la herramienta de trabajo de científicos que pueden interpretar los datos que proporciona. Por estos caminos, la ciencia, manera sistemática y estructurada de entender el mundo material, se pone al servicio de la materialidad de la obra de arte para prolongar su vida a fin de que pueda seguir transmitiendo su mensaje.

Alicia M. Seldes
Departamento de Química Orgánica
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

tuyen tegumentos protectores y los segundos vehículos ligantes de los pigmentos— es una forma de establecer, entre otras cosas, con qué solventes remover lo que se desea quitar sin afectar lo que debe dejarse; por ejemplo, en una situación como la mencionada de imágenes superpuestas por repintado, en especial si las mismas datan de fechas distintas y no están aisladas entre sí por barnices o suciedades que faciliten su separación por medios mecánicos, podría suceder que la diferente composición química de las pinturas utilizadas permitiese disolver la más reciente con alguna sustancia que no tuviese efectos sobre la primitiva. Por otro lado, el análisis químico de los pigmentos suele aportar datos sobre la época y procedencia de una pintura así como de sus agregados.

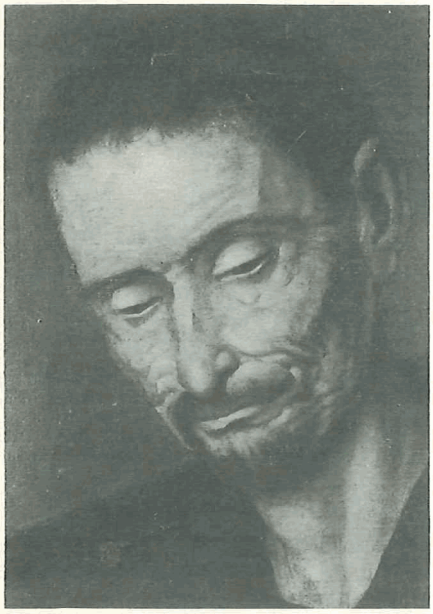
Estos recursos tecnológicos, sin embargo, no agotan el diagnóstico ni se pueden aplicar sin el complemento de un juicio sobre la significación histórica y la calidad artística. Para volver al ejemplo de una figura pintada sobre otra, si bien la regla general es que, casi siempre, la más antigua es la más valiosa y, por ende, conviene quitar la otra y volver la primera a su esplendor original, no es poco frecuente —y por varias razones ello es especialmente así en la pintura colonial— que un cuadro importante haya sido pintado sobre otro de escaso valor, o que el pintor haya modificado deliberadamente, en parte o en todo, una figura (situación, esta, llamada técnicamente *pentimento*), con lo cual la decisión correcta es restaurar la pintura más reciente y hacer caso omiso de la que subyace.

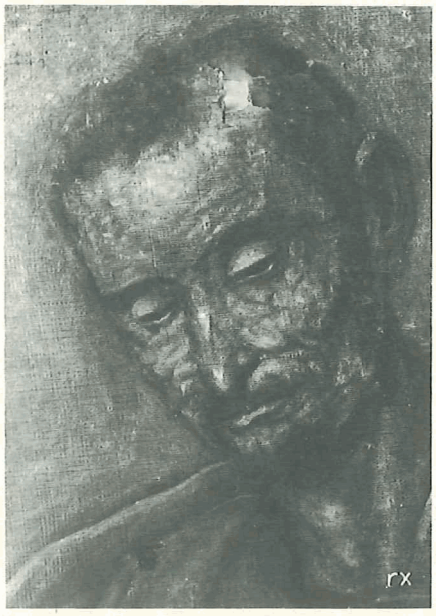
Otro punto tecnológico interesante —sobre el cual se ha abierto una agitada polémica entre restauradores de diversos países— es la utilización de modernas sustancias sintéticas para tratar cuadros en cuya composición sólo entraron otras naturales, orgánicas o inorgánicas. Puesto que dichos productos sintéticos son relativamente recientes, hasta que no haya pasado un buen número de años y se puedan verificar los resultados de la novedosa experiencia, la polémica no podrá dirimirse.

La tercera cuestión que vale la pena comentar es el hecho de que la fundación TAREA es un ejemplo exitoso de la búsqueda de nuevas soluciones institucionales para problemas hasta ahora no resueltos —y tal vez imposibles de resolver— por las entidades existentes. Producto de la colaboración de la Academia Nacional de Bellas Artes con la Fundación Antorchas, TAREA ha comenzado a hacer algo que, hasta donde tenemos noticias, ninguna otra organización argentina, pública o privada, con fines de lucro o sin ellos, encaró recientemente: movilizar los recursos técnicos, humanos y financieros necesarios para proceder con eficacia a la restauración sistemática de un número importante de obras de arte. Constituida como una entidad civil privada sin fines de lucro, la gobierna un consejo de administración cuyos integrantes son designados por las dos instituciones que le dieron origen, las que de este modo, indirectamente y sin entorpecer su acción, tienen un compromiso con la marcha del taller y con los resultados que obtenga.

La novedad institucional que representa TAREA reside en que la fórmula ensayada supera la tradicional separación u oposición de lo público y lo privado, producto de una forma de organizar la sociedad que parece cada vez menos adaptada a las necesidades actuales. El camino de recurrir a entidades privadas cuya finalidad estatutaria y operativa es el bien público abre posibilidades de acción que difícilmente estén hoy al alcance de los organismos estatales —los que hasta hace poco eran mayoritariamente considerados responsables naturales de funciones como la que cumple TAREA— y tampoco serían accesibles a empresas con fines de lucro. A medida que esta clase de experiencias se multiplique, es posible que la colaboración entre los diversos entes culturales del Estado y las empresas o personas preocupadas por la conservación de los bienes artísticos mejore, se amplíe y tome nuevas formas. Se trata de un ensayo para el que entidades como TAREA proporcionan un cauce concreto.

José Xavier Martini
Fundación Antorchas





La foto de la izquierda corresponde a un detalle del cuadro de Angel María Camponeschi "Retrato del hermano lego José de Zemborain, O.P.", 1804. A la derecha se reproduce una radiografía del mismo detalle. Se advierte con claridad cómo los rayos X revelan una rotura escasamente perceptible en la otra toma.

Para lectores interesados

BERGEON, S., 1990, *Sciènce et patience, ou la restauration des peintures*, Editions de la Réunion des musées nationaux, Paris.

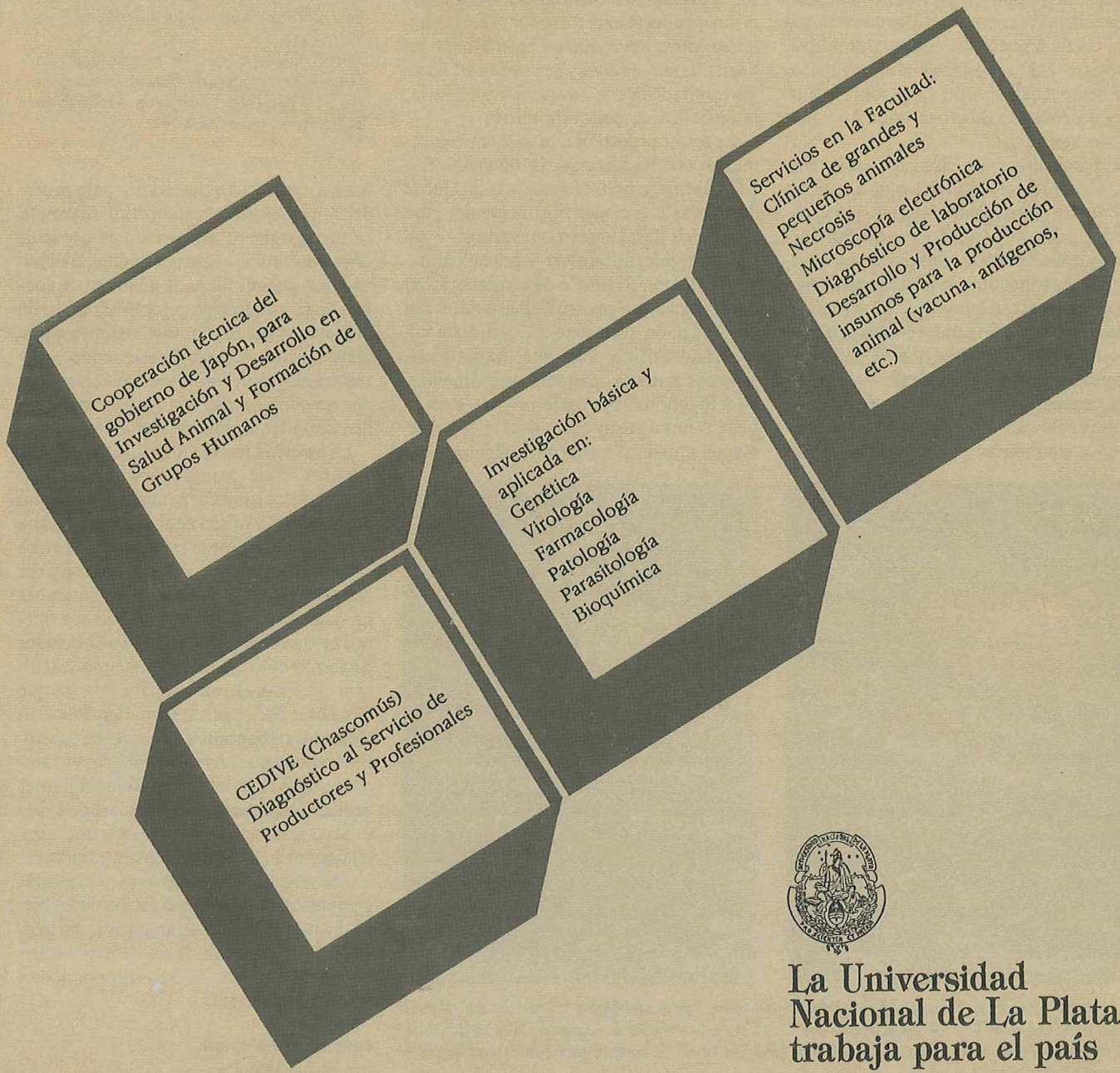
DE MESA, J. y GISBERT, T., 1982, *Historia de la pintura cuzqueña*, Fundación Augusto N. Wiese, Lima.

HERZBERG, J. P., 1986, "Angels with Guns, Image and Interpretation", en *Gloria in Excelsis* (catálogo), The Americas Society, New York.

MUSEO NACIONAL DE BELLAS ARTES, 1989, *Salvando alas y halos* (catálogo), Buenos Aires.

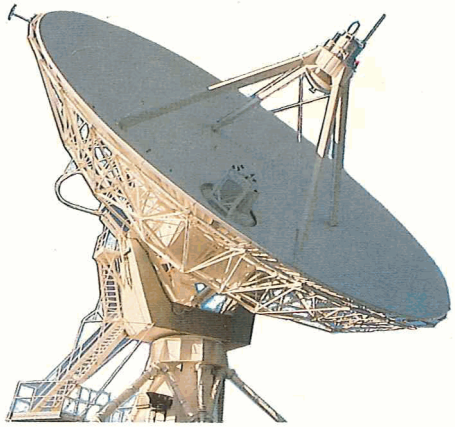
SCHENONE, H. H., 1983, "Pintura", en *Historia general del arte en la Argentina*, tomo II, págs. 13-91, Academia Nacional de Bellas Artes, Buenos Aires.

La Facultad de Ciencias Veterinarias cambia para que la Argentina cambie



La Universidad Nacional de La Plata trabaja para el país

Cícero/Ted Bates



Las comunicaciones.
El Aluminio convive con Usted
de mil maneras, todos los días.

Nosotros lo producimos
en Puerto Madryn
para el país y el mundo.

aluar
Aluminio Argentino

La excelencia de un producto se sustenta en la empresa que lo avala

nopucid

COMPUESTO

Decametrina - PBX

Cura, previene y termina con la pediculosis

NO TOXICO

VENTA EXCLUSIVA EN FARMACIAS

PRESTIGIO Y SEGURIDAD

SINTYAL

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO